Lawrence M. Krauss

# WSZECHŚWIAT Z NICZEGO

## DLACZEGO ISTNIEJE RACZEJ COŚ NIŻ NIC

NA ŚCIEŻKACH NAUKI

Prószyński i S-ka

Plik jest zabezpieczony znakiem wodnym

## W serii ukazały się:

### w 2011 roku:

Frank Wilczek
Lekkość bytu. Masa, eter i unifikacja sił

R. Douglas Fields
Drugi mózg. Rewolucja w nauce i medycynie

Lisa Randall
Ukryte wymiary Wszechświata

Sean Carroll
Stąd do wieczności i z powrotem

Leonard Susskind
Kosmiczny krajobraz

John S. Allen
Życie mózgu. Ewolucja człowieka i umysłu

Richard Panek
Ciemna strona Wszechświata.
W poszukiwaniu brakujących składników rzeczywistości

### w 2012 roku:

Richard Dawkins
Samolubny gen

Ian Stewart
Dlaczego prawda jest piękna. O symetrii w matematyce i fizyce

Günter Nimtz, Astrid Haibel

Przestrzeń czasu zerowego. Tunelowanie kwantowe i prędkości nadświetlne

Ian Stewart
Stąd do nieskończoności.
Przewodnik po krainie dzisiejszej matematyki

John D. Barrow
Księga wszechświatów

Shing-Tung Yau, Steve Nadis
Geometria teorii strun. Ukryte wymiary przestrzeni

Leon Lederman, Dick Teresi
Boska cząstka. Jeśli Wszechświat jest odpowiedzią, jak brzmi pytanie?

David A. Weintraub
Ile lat ma wszechświat. Wielkie pytanie i wielka podróż ku odpowiedzi

Brian Greene
Ukryta rzeczywistość. W poszukiwaniu wszechświatów równoległych

Ian Sample
Peter Higgs. Poszukiwania boskiej cząstki

## w 2013 roku:

Lisa Randall
Pukając do nieba bram. Jak fizyka pomaga zrozumieć wszechświat

Paul Davies
Milczenie gwiazd. Poszukiwania pozaziemskiej inteligencji

Leon Lederman, Christopher Hill
Zrozumieć niepojęte. Fizyka kwantowa i rzeczywistość

Frank Close
Zagadka nieskończoności.
Kwantowa teoria pola na tropach porządku Wszechświata

Stephen Oppenheimer
Pożegnanie z Afryką. Jak człowiek zaludniał świat…

Bruce Rosenblum
Zagadka teorii kwantów. Zmagania fizyki ze świadomością

Lawrence M. Krauss

# WSZECHŚWIAT Z NICZEGO

## Dlaczego istnieje raczej coś niż nic

Z posłowiem Richarda Dawkinsa

Przełożył
Tomasz Krzysztoń

Prószyński i S-ka

Tytuł oryginału
A UNIVERSE FROM NOTHING
Why There Is Something Rather than Nothing

Copyright © 2012 by Lawrence M. Krauss
First published by Simon & Schuster
All rights reserved

Projekt okładki
Prószyński Media

Ilustracja na okładce
iStock

Redaktor serii
Adrian Markowski

Redakcja
Anna Kaniewska

Korekta
Bronisława Dziedzic-Wesołowska

ISBN 978-83-7961-702-9

Warszawa 2014

Wydawca
Prószyński Media Sp. z o.o.
02-697 Warszawa, ul. Rzymowskiego 28
www.proszynski.pl

*Dla Thomasa, Patty, Nancy i Robina*
*za natchnienie mnie, by stworzyć coś z niczego…*

*W tym miejscu w 1897 roku*
*nic się nie wydarzyło*

płyta na ścianie tawerny Woody Creek
w Woody Creek, stan Kolorado

# Przedmowa do nowego wydania

Od czasu poprzedniego wydania niniejszej książki kontrargumentem wobec zarzutów niektórych komentatorów podważających pomysł powstania Wszechświata z niczego stało się ważne odkrycie naukowe wskazujące właśnie na taką możliwość. Odkrycie bozonu Higgsa wzbogaca naszą wiedzę o związku między pozornie pustą przestrzenią i naszym istnieniem. Chciałbym zatem szczegółowo omówić tu obie sprawy, odkrycie bozonu Higgsa i negatywną reakcję na *Wszechświat z niczego*.

Wybierając podtytuł tej książki w postaci pytania: *Dlaczego istnieje raczej coś niż nic*, zamierzałem połączyć zadziwiające odkrycia współczesnej nauki z zagadnieniem, które od dwóch tysiącleci fascynowało teologów, filozofów, uczonych reprezentujących nauki ścisłe oraz zwykłych ludzi. Nie uświadamiałem sobie jednak, że dobór słów może prowadzić do pewnego rodzaju nieporozumienia, gdy ewolucję publicznie określa się mianem teorii.

W obiegowym znaczeniu *teoria* oznacza coś zupełnie innego niż w nauce. A słowo *nic* u niektórych ludzi wywołuje gwałtowną reakcję, wyznacza bowiem granicę, której nie chcą przekraczać. Dlatego nawet użycie tego słowa, podobnie jak słowa Bóg, prowadzić może do polaryzacji poglądów, która zaciemnia zagadnienia ważniejsze. Podobnie można powiedzieć o słowie *dlaczego* ze znakiem zapytania: użycie razem słów *dlaczego* i *nic* jest mieszanką wybuchową, podobnie jak ropa naftowa zmieszana ze sztucznym nawozem.

W rozdziale 9 wspominam o fakcie, który chciałbym teraz przedstawić. Gdy ktoś pyta w nauce „dlaczego”, to faktycznie ma na myśli „jak”. W nauce nie jest rozsądne zadawanie pytania rozpoczynającego się słowem „dlaczego”, ponieważ zwykle sugeruje

ono determinację i, jak wie każdy rodzic małego dziecka, w nieskończoność można pytać „dlaczego”, nie przejmując się poprzednimi odpowiedziami. Wówczas jedyną rozsądną metodą zakończenia rozmowy jest udzielenie odpowiedzi: „dlatego!”.

Postęp nauki zmienia znaczenie pytań, zwłaszcza tych rozpoczynających się od słowa „dlaczego”. Oto bardzo dawny przykład, pod pewnymi względami podobny do najnowszych odkryć naukowych omawianych w tej książce.

Astronom o międzynarodowej renomie, Johannes Kepler, twierdził w 1595 roku, że w wyniku objawienia znalazł odpowiedź na niezwykle istotne pytanie z tego gatunku: „Dlaczego istnieje sześć planet?”. Odpowiedź, w jego przekonaniu, tkwiła w kształcie pięciu brył platońskich uważanych za święte. Brył, których ściany są przystającymi wielokątami foremnymi – trójkątami, kwadratami itd. – a promienie sfer na nich opisanych wzrastają wraz z liczbą ścian. Jak przypuszczał Kepler, na sferach tych można ułożyć orbity sześciu znanych wtedy planet, a ich względne odległości od Słońca i fakt, że jest ich tylko sześć, ukazywałyby głęboką myśl Boga matematyka. (Przekonanie o tym, że geometria jest święta, pojawiło się już w czasach Pitagorasa). Pytanie, dlaczego jest sześć planet, w 1595 roku uważano za bardzo istotne, odpowiedź na nie bowiem wyjaśniłaby, czym jest Wszechświat.

Teraz takie pytanie nie ma już znaczenia. Po pierwsze dlatego, że istnieje nie sześć, ale dziewięć planet. (Dla mnie Pluton będzie zawsze planetą. Lubię irytować tym twierdzeniem nie tylko mojego przyjaciela Tony’ego Tysona, ale także nie chciałbym, aby rozprawka naukowa na temat Plutona wykonana w czwartej klasie przez moją córkę okazała się daremna!). Co więcej, wiemy już, o czym Kepler i jemu współcześni nie mieli pojęcia. Układ Słoneczny *nie* jest jedyny we Wszechświecie. Odkryto do tej pory ponad dwa tysiące planet orbitujących wokół swoich gwiazd (dzięki satelicie nazwanemu Kepler, dziwnym zbiegiem okoliczności!).

Istotnym pytaniem staje się nie „dlaczego”, ale „jak to się stało, że nasz Układ Słoneczny ma dziewięć planet?” (lub osiem, jak kto woli). A ponieważ istnieje wiele układów słonecznych o rozmaitych własnościach, dla nas najbardziej interesujący wniosek zawiera się

w pytaniu, w jakim stopniu nasz Układ Słoneczny jest typowy i jakie okoliczności spowodowały, że w naszym układzie najbliżej Słońca krążą cztery skaliste planety otoczone przez kilka innych większych, gazowych planet gigantów. Odpowiedź na to pytanie może, na przykład, pomóc w oszacowaniu prawdopodobieństwa istnienia życia gdzieś we Wszechświecie.

Najważniejsze jednak, że w liczbie sześć nie ma nic szczególnego (albo osiem lub nawet dziewięć), nic nie wskazuje na cel albo projekt… w rozkładzie planet we Wszechświecie nie ma dowodów „celu". A zatem pytanie „dlaczego" nie tylko brzmi teraz: „jak", lecz także nie ma już żadnego weryfikowalnego znaczenia.

Jeśli więc pytamy „dlaczego istnieje raczej coś niż nic?", to w istocie chodzi nam o to, „w jaki sposób istnieje raczej coś niż nic?". Dochodzimy teraz do drugiego nieporozumienia związanego z dokonanym przeze mnie doborem słów. Jest wiele pozornych „cudów" natury, tak onieśmielających, że wielu zrezygnowało z poszukiwań wyjaśnienia, jak to się stało, iż istniejemy, i zrzucili całą odpowiedzialność na Boga. Pytanie, na którym najbardziej mi zależy i na które może odpowiedzieć współczesna nauka, brzmi: jak we Wszechświecie „wszystko" pojawiło się „z niczego", albo jak kto woli, jak bezkształtność uzyskała postać. Jest to tak zdumiewające i tak przeczy intuicji, że wydaje się podważać wszystko, co wiemy o świecie – a w szczególności przekonanie, że energia w jej różnorodnych formach, łącznie z masą, jest zachowana. Zdrowy rozsądek sugeruje, że „nic", w sensie braku „czegokolwiek", powinno mieć całkowitą energię równą zeru. A zatem skąd się wzięło czterysta miliardów galaktyk, które tworzą obserwowalną część Wszechświata?

Fakt, że w celu zrozumienia natury musimy udoskonalić to, co uznajemy za „zdrowy rozsądek", jest dla mnie jednym z najbardziej niezwykłych i wyzwalających aspektów nauki. Rzeczywistość wyzwala nas z przekonań i uprzedzeń powstałych w czasie ewolucji naszego intelektu rozpoczętej od zwierzęcych przodków, których przeżycie zależało od dostrzeżenia drapieżnika czającego się wśród drzew albo w jaskini, a nie od zrozumienia funkcji falowej elektronów w atomach.

Nasza współczesna koncepcja Wszechświata jest tak diametralnie inna od tego, w co wierzyli uczeni nawet niecały wiek temu, że budzi uznanie dla potęgi metody naukowej oraz kreatywności i uporu ludzi, którzy ją stworzyli. Jest to godne najwyższego uznania. Odpowiedź na pytanie o to, jak coś może powstać z niczego, którą opisałem w tej książce, to zagadnienie jeszcze bardziej interesujące niż tylko możliwość pojawienia się galaktyk z pustej przestrzeni. Nauka stwarza możliwy scenariusz kreacji samej przestrzeni (i czasu) – i być może pozwoli także zrozumieć nam, jak z chaosu wyłoniły się prawa fizyki rządzące dynamiką czasu i przestrzeni.

Jednak te fascynujące rozwiązania starych jak wieki tajemnic niektórym nie wystarczają. Są ludzie owładnięci głębszym zagadnieniem nieistnienia. Czy jesteśmy w stanie zrozumieć, dlaczego wciąż nie panuje absolutna nicość, taka nicość, w której nawet nie tkwi cień możliwości zaistnienia czegoś? Czy kiedykolwiek będziemy mogli powiedzieć coś więcej niż to, że nic, które stało się naszym czymś, było kiedyś częścią „czegoś" innego, w czym krył się potencjał naszego istnienia albo w ogóle jakiegokolwiek istnienia?

Do tego typu obaw odnoszę się w tej książce z nonszalancją, ponieważ uważam, że nic nie wnoszą do rzeczowej dyskusji nad zagadnieniami „aktualnie możliwymi do rozwiązania dzięki badaniom wszechświata". Pominąłem ten filozoficzny problem, ale nie dlatego, że moim zdaniem ludzie zajmujący się pewnymi jego aspektami nie potrafią jasno formułować logicznych pytań. Wykluczyłem tutaj ten aspekt filozofii, dlatego że według mnie omija mające szanse na rozwiązanie naprawdę interesujące fizyczne zagadnienia związane z powstaniem i ewolucją naszego Wszechświata. Bez wątpienia ktoś uzna to za moje ograniczenie, i być może tak jest. Lecz właśnie w tym duchu czytelnik powinien czytać moją książkę. Nie obiecuję rozwiązywania żadnych zagadnień, których nie da się rozwiązać na gruncie nauki, oraz staram się bardzo dokładnie zdefiniować to, co rozumiem przez „nic" i „coś". Jeśli moje definicje różnią się od tych, które wy chcielibyście stosować, no to cóż… napiszcie własną książkę. Jednak nie znajdując pocieszenia w nauce, nie odrzucajcie tej wspaniałej ludzkiej przygody, jaką jest współczesna nauka.

A teraz dobre wieści! Ubiegłego lata fizycy na całym świecie, w tym i ja, w bardzo dziwnych porach przyklejeni do swych komputerów obserwowali na żywo, jak uczeni obsługujący Wielki Zderzacz Hadronów w okolicach Genewy oznajmiali, że znaleźli brakujący, najważniejszy element układanki, jaką jest natura – odkryli cząstkę Higgsa (albo bozon Higgsa).

Odkrycie cząstki Higgsa, prawie pięćdziesiąt lat temu postulowanej w celu zachowania spójności między teorią cząstek elementarnych i wynikami eksperymentów, stało się ukoronowaniem najbardziej niezwykłej przygody intelektualnej w historii ludzkości – o której powinien wiedzieć każdy człowiek interesujący się postępem wiedzy. Uczyniło to jeszcze bardziej niezwykłym przypadek, dzięki któremu z niczego pojawiło się nasze istnienie. Temat tej książki. Owo odkrycie jest dalszym dowodem tego, że Wszechświat dostępny dla nas to tylko czubek ukrytej kosmicznej góry lodowej i że na pozór pusta przestrzeń może zawierać zarodki naszej egzystencji.

Postulatowi istnienia cząstki Higgsa towarzyszyła w ostatnich latach XX wieku niezwykła rewolucja, która zmieniła fizykę cząstek elementarnych. Przecież zaledwie pięćdziesiąt lat temu, i to pomimo ogromnego postępu fizyki w poprzednich dziesięcioleciach, opisaliśmy w ramach teorii kwantów tylko jedno z czterech oddziaływań fundamentalnych – elektromagnetyzm. Tymczasem w ciągu następnych dziesięciu lat nie tylko zdobyliśmy wiedzę o trzech pozostałych oddziaływaniach, lecz także odkryliśmy nową, bardzo elegancką ich jedność. Znaleziono nowy matematyczny opis wszystkich znanych oddziaływań, w którym dwa z fundamentalnych oddziaływań, elektromagnetyczne i słabe (które rządzi reakcjami jądrowymi na Słońcu), są w istocie różnymi przejawami leżącego u ich podstaw jednego oddziaływania.

W jaki sposób te dwa tak różne oddziaływania mogą być ze sobą związane? Przecież foton, nośnik oddziaływania elektromagnetycznego, nie ma masy, podczas gdy cząstki przenoszące oddziaływanie słabe są bardzo masywne – prawie tysiąc razy masywniejsze od tych stanowiących budulec jądra atomowego, co faktycznie tłumaczy, dlaczego oddziaływanie słabe jest słabe.

Brytyjski fizyk Peter Higgs wraz z kilkoma innymi fizykami wykazali, że jeśli istnieje przenikające całą przestrzeń pole (pola Higgsa), to w wyniku oddziaływania cząstki przenoszącej oddziaływanie z tym polem, na przykład oddziaływanie elektromagnetyczne, działa na nią siła oporu spowalniająca jej ruch, podobnie jak spowalniany jest pływak w lepkiej cieczy. W rezultacie cząstki zachowują się tak, jakby miały masę. Fizyk Steven Weinberg (i trochę wcześniej Abdus Salam) zastosowali ten pomysł do modelu zaproponowanego przez Sheldona L. Glashowa i wszystko zaczęło do siebie pasować.

Ideę tę można zastosować do pozostałych podstawowych cząstek natury, włączając w to cząstki takie jak te, z których zbudowane są protony i neutrony, oraz cząstki elementarne, jak elektrony, stanowiące budulec naszych ciał. Jeśli cząstka oddziałuje silniej z tym polem, to uzyskuje większą masę. Jeśli oddziałuje słabiej, to ma mniejszą masę. A jeśli wcale z nim nie oddziałuje, jak foton, to pozostaje bezmasowa.

Jeśli coś wygląda zbyt pięknie, aby było prawdziwe, to tak jest. Cud istnienia masy – a w istocie nas samych (bo bez pola Higgsa nie byłoby gwiazd, planet i ludzi) – w sposób oczywisty związany jest z istnieniem jakiegoś pozostającego w ukryciu pola, które ma spowodować, aby świat był taki, jaki jest.

Jednak opieranie się na niewidocznych cudach jest domeną religii, a nie nauki. Aby się przekonać, czy takie niezwykłe zdarzenie jest prawdziwe, fizycy oparli się na innym aspekcie teorii kwantów. Z każdym polem związana jest cząstka i jeśli wybierzemy punkt w przestrzeni i uderzymy weń dostatecznie mocno, to wyrwiemy z niego rzeczywiste cząstki. Cała sztuczka polega na tym, aby w dostatecznie małą objętość przestrzeni uderzyć dostatecznie mocno. W tym cały szkopuł. W ciągu pięćdziesięciu lat prób, łącznie z nieudanym projektem budowy w Stanach Zjednoczonych akceleratora przeznaczonego do testów tego rodzaju, nie pojawił się żaden sygnał świadczący o istnieniu cząstki Higgsa. Prawdę mówiąc, ja sam byłem przekonany o jej nieistnieniu, bo doświadczenie fizyka teoretyka nauczyło mnie, że natura jest znacznie bardziej skomplikowana, niż nam się to wydaje.

Tak było aż do lipca.

Odkrycie bozonu Higgsa na pewno nie przyczyni się do produkcji lepszych tosterów ani szybszych samochodów. Stanowi jednak niezwykły dowód siły ludzkiego umysłu zdolnego do poznawania sekretów natury i tworzenia odpowiedniej technologii do ich wykorzystania. Owe sekrety ukryte w czymś, co wydaje się pustą przestrzenią – w istocie czymś, co jest niczym – wydają się właśnie tymi czynnikami umożliwiającymi nasze istnienie.

Odkrycie pola Higgsa udowodniło prawdziwość wielu idei, o których piszę w tej książce. Pomysł, że bardzo wczesny Wszechświat przeszedł etap rozszerzania z prędkością nadświetlną, zwany inflacją, która spowodowała powstanie z niczego prawie całej przestrzeni i materii w obserwowalnej części kosmosu, opiera się na fundamentalnym założeniu, iż na samym początku jeszcze inne pole, podobne do odkrytego w poprzednim roku pola Higgsa, na moment przejęło władzę nad światem.

Istnienie przenikającego dzisiaj całą przestrzeń pola Higgsa także skłania do zadania kilku bardzo ważnych pytań, z których najistotniejsze brzmią: „Jakie warunki we wczesnym Wszechświecie doprowadziły do tego kosmicznego wydarzenia?”, „Dlaczego pole ma taką wartość, jaka jest mierzona?”, „Czy mogłoby mieć jakąś inną?”, „Czy prawa fizyki, gdyby warunki początkowe były trochę inne, mogły doprowadzić do powstania Wszechświata bez materii?”. To właśnie ten typ pytań, które omawiam pod koniec książki.

Bez względu na ostateczne rozwiązanie tej skomplikowanej układanki i innych, o których będę pisał w dalszej części książki, odkrycia dokonane w fizyce i astronomii w ciągu ostatnich czterdziestu lat gruntownie przeorały wyobrażenie o miejscu, jakie zajmujemy we Wszechświecie, zmieniając nie tylko pytania, jakie zadajemy, lecz także ich sens. Jest to być może najważniejsze dziedzictwo współczesnej nauki, dziedzictwo, jakie dzieli ona z wielkimi dokonaniami w muzyce, sztuce i literaturze, które powinno zostać szerzej poznane.

# Przedmowa

*Bez względu na to, czy jest to marzenie, czy też koszmar, musimy cieszyć się życiem takim, jakie jest, i przeżywać je świadomie. Żyjemy w świecie na wskroś przenikniętym nauką, który jest zarówno rzeczywisty, jak i integralny. Nie możemy tego przekształcić w grę, opowiadając się po którejś ze stron.*

Jacob Bronowski

Aby już na samym początku nie było niejasności, oświadczam, iż nie jestem zwolennikiem poglądu, że kreacja wymaga istnienia kreatora, podstawowej tezy leżącej u podstaw największych religii świata. Każdego dnia obserwujemy niebywale piękne obiekty, od płatków śniegu w chłodny zimowy poranek do jaskrawych tęczy po południowych letnich opadach. Tylko najbardziej zagorzali fundamentaliści twierdzą, że każdy z tych obiektów jest w najmniejszych drobiazgach, i co najważniejsze, celowo stworzony w ramach boskiego planu. Wyjaśnienie, w jaki sposób powstają płatki śniegu czy też tęcze, oparte na prostych i eleganckich prawach fizyki tak naprawdę zachwyci zarówno zwykłych ludzi, jak i uczonych.

Oczywiście, wiele osób pyta, „skąd biorą się prawa fizyki" lub – z bardziej fundamentalnych pozycji – „kto te prawa stworzył". Nawet jeśli odpowie się na pierwsze pytanie, pytający często zadaje następne: „ale skąd się to wzięło". Albo „kto to stworzył". I tak dalej.

Ostatecznie wielu dociekliwych ludzi doszło w swych rozważaniach do oczywistego wniosku o istnieniu Pierwszej Przyczyny, jak ująłby to Platon, Tomasz z Akwinu albo współczesny Kościół katolicki, a tym samym o istnieniu boskiego bytu – twórcy wszystkich rzeczy, jakie są

i kiedykolwiek będą, kogoś lub czegoś wiecznego i istniejącego wszędzie.

Jednakże teza o istnieniu Pierwszej Przyczyny pozostawia otwarte pytanie: „kto stworzył stwórcę". W końcu jaka jest różnica między uzasadnianiem tezy o wiecznie istniejącym stwórcy a uzasadnianiem tezy o Wszechświecie istniejącym wiecznie, ale bez niego?

Te spory przypominają mi zawsze opowieść o uczonym, któremu podczas wykładu o początkach Wszechświata (uczonym czasami identyfikowanym z Bertrandem Russellem, a czasami z Williamem Jamesem) sprzeciwiła się kobieta wierząca, że świat jest podtrzymywany przez gigantycznego żółwia stojącego na innym gigantycznym żółwiu, stojącym na jeszcze innym gigantycznym żółwiu i tak dalej. Ten nieskończony regres siły stwórczej, która powstaje sama z siebie, nie przybliży nas jednak ani na jotę do tego, co spowodowało powstanie Wszechświata. Niemniej taka metafora o nieskończonej regresji może być w istocie bliższa realnego procesu, który stworzył Wszechświat, niż wyjaśnienie jego pochodzenia jako dzieła stwórcy.

Unikanie odpowiedzi na to pytanie wyjaśnieniem, że odpowiedzialność spoczywa na Bogu, wydaje się usuwać zagadnienie nieskończonej regresji, ale ja muszę tutaj przywołać moją mantrę: Wszechświat jest taki, jaki jest, bez względu na to, czy nam się to podoba, czy też nie. Istnienie lub nieistnienie stwórcy jest niezależne od naszych życzeń. Świat istniejący bez Boga albo celu może wydawać się okrutny lub bezsensowny, ale nie jest to dowód istnienia Boga.

Rozumując podobnie, można by powiedzieć, że nasze umysły mogą nie być zdolne do łatwego przyswojenia pojęcia nieskończoności (chociaż matematyka, produkt naszego umysłu, daje sobie z nim radę całkiem dobrze), ale to wcale nie dowodzi, że nieskończoności nie istnieją. Nasz Wszechświat może być nieskończony w wymiarze przestrzennym lub czasowym. Albo, jak kiedyś stwierdził Richard Feynman, prawa fizyki mogą być jak cebula o nieskończenie wielu warstwach, nowe prawa zaczynają obowiązywać wtedy, gdy badamy świat w innej skali. *Po prostu nie wiemy!*

Przez więcej niż dwa tysiąclecia pytanie o to, „dlaczego raczej istnieje coś niż nic", stanowiło wyzwanie dla tezy powstania naszego Wszechświata bez zamysłu, planu albo celu, a przecież zawierającego ogromny konglomerat gwiazd, galaktyk, ludzi i kto wie czego jeszcze. I choć zwykle uważa się to za zagadnienie filozoficzne lub religijne, to przede wszystkim dotyczy ono świata przyrody i dlatego najbardziej odpowiednim narzędziem do jego badania jest nauka.

Zamiar, który przyświecał pisaniu tej książki, jest prosty. Chcę pokazać, jak współczesna nauka, w wielu jej wcieleniach, może odnieść się do pytania o to, dlaczego istnieje raczej coś niż nic. Otrzymane rezultaty – od oszałamiająco pięknych obserwacji eksperymentalnych po teorie, które stanowią podstawę współczesnej fizyki – sugerują, że powstanie czegoś z niczego nie stanowi problemu. W istocie coś z niczego mogło być *potrzebne*, aby zaistniał Wszechświat. A poza tym wszystko wskazuje, że tak właśnie *mógł* powstać nasz Wszechświat.

Podkreślam tutaj słowo *mógł*, ponieważ nigdy nie będziemy mieć wystarczających informacji empirycznych, aby rozwiązać to zagadnienie w sposób jednoznaczny. Mimo to przynajmniej dla mnie ogromnie ważne jest to, że *możliwe* jest powstanie Wszechświata z niczego.

Zanim przejdziemy do innych zagadnień, chciałbym poświęcić kilka słów pojęciu „nic" – do którego później jeszcze powrócę. Omawiając tę kwestię na forum publicznym, dowiedziałem się, że filozofów i teologów najbardziej denerwuje to, że będąc uczonym, nie rozumiem istoty pojęcia „nic". (Kusi mnie, aby odparować cios stwierdzeniem, że to oni właśnie są ekspertami od niczego).

„Nic", jak uparcie twierdzą, nie jest żadną z tych rzeczy, które omawiam. „Nic" jest „nieistnieniem", w pewnym mglistym i niejasno sformułowanym sensie. Przypomina mi to moje wysiłki zdefiniowania podczas pierwszych dyskusji z kreacjonistami, czym jest „projekt inteligentny", który jak się okazuje, nie daje się jasno sprecyzować, z wyjątkiem stwierdzenia, czym on nie jest. „Inteligentny projekt" jest po prostu tezą przeciwstawną ewolucji. Podobnie niektórzy

filozofowie i wielu teologów definiują i przedefiniowują „nic”, tak aby nie było ono żadną z wersji, którą aktualnie uczeni się posługują.

W tym właśnie według mnie tkwi przyczyna intelektualnego upadku teologii i części współczesnej filozofii. Z pewnością „nic” jest w każdym aspekcie równie fizyczne jak „coś”, zwłaszcza jeśli się to definiuje jako „brak czegokolwiek”. Wypadałoby nam zatem zrozumieć dokładnie fizyczną naturę obu tych pojęć. A bez nauki każda definicja to tylko słowa.

Sto lat temu gdyby ktoś, opisując „nic”, odnosił to do zupełnie pustej przestrzeni, niemającej materialnej istoty, nie wywołałoby to sporu. Tymczasem wyniki badań z zeszłego stulecia pokazały nam, że pusta przestrzeń to dalece nie to samo co niezmienna nicość, jak przyjęto uważać, zanim lepiej poznano mechanizmy rządzące naturą. Teraz religijni krytycy mówią mi, że nie mogę uważać pustej przestrzeni za „nic”, lecz raczej za „stan kwantowej próżni”, by odróżnić to pojęcie od wyidealizowanego przez teologów i filozofów terminu „nicość”.

Niech tak będzie. A gdy zechcemy opisać „nic” jako nieistnienie samej przestrzeni i czasu? Czy jest to wystarczające? Co więcej, podejrzewam, że tak się stało… pewnego razu. Jak jeszcze o tym napiszę, dowiedzieliśmy się, że przestrzeń i czas mogą powstać spontanicznie, zatem teraz mówi się nam, że nawet to „nic” nie jest tym nic, o które chodzi. I mówi się nam, że ucieczka od „rzeczywistego” nic wymaga ingerencji boskiej, z „nic” odgórnie zdefiniowanym tak, „że tylko Bóg może z niego coś stworzyć”.

Wiele osób, z którymi dyskutowałem o tym zagadnieniu, sugerowało, że jeśli istnieje „potencjał” stworzenia, to nie istnieje stan prawdziwej nicości. I oczywiście uznając taki potencjał tkwiący w prawach natury, oddalamy się od prawdziwej domeny nieistnienia. Natomiast wtedy, gdy dowodziłem, że być może same prawa natury powstały spontanicznie, co mogło się zdarzyć, to też okazywało się niewystarczająco dobre, ponieważ każdy możliwy układ, w którym takie prawa mogłyby powstać, nie byłby prawdziwą nicością.

Żółw stojący na żółwiu, i tak cały czas w dół? Nie wydaje mi się. Chociaż żółwie są atrakcyjne, ponieważ nauka zmienia domenę swych badań, tak że ludzie czują się nieswojo. Oczywiście taki jest

jeden z celów nauki („filozofii przyrody”, jak ją określano w czasach Sokratesa). Brak psychicznego komfortu może oznaczać, że następuje przełom w pojmowaniu istoty rzeczy. Z pewnością odwoływanie się do „Boga”, aby uniknąć trudnych pytań z rodzaju „jak”, jest jedynie intelektualnym lenistwem. W końcu gdyby nie było możliwości kreacji, to Bóg nie stworzyłby niczego. Twierdzenie w celu uniknięcia potencjalnie nieskończonej regresji, że Bóg istnieje poza naturą i dlatego sama „możliwość” istnienia nie jest częścią nicości, z której zrodziło się istnienie, byłoby tylko semantyczną sztuczką.

Moim celem jest pokazanie, że istotnie nauka zmieniła swoją domenę badań, po to aby te abstrakcyjne i bezużyteczne debaty o naturze nicości zastąpić użytecznym wyjaśnieniem, w jaki sposób nasz Wszechświat mógł rzeczywiście powstać. Opiszę także możliwe implikacje tego wyjaśnienia dla naszej teraźniejszości i przyszłości.

Odzwierciedla to bardzo ważny fakt. Religia i teologia w najlepszym wypadku stają się nieistotne, gdy mamy do czynienia z badaniem ewolucji Wszechświata. Często bowiem wprowadzają zamęt, na przykład koncentrując się na kwestii nicości bez ustanawiania definicji tego pojęcia opartego na empirycznych dowodach. Dopóki nie zrozumiemy w pełni pochodzenia naszego Wszechświata, dopóty nie należy oczekiwać jakichś zmian w tym względzie. Spodziewam się, że podobnie będzie z tematami, które religia obecnie uważa za własną domenę, takimi jak moralność człowieka.

Nauka bardzo efektywnie pogłębia nasze zrozumienie natury, ponieważ etos naukowy oparty jest na trzech podstawowych wytycznych: (1) podążaj za dowodami, dokądkolwiek one prowadzą; (2) gdy masz teorię, to staraj się ją tak samo mocno podważyć, jak starasz się udowodnić jej prawdziwość; (3) ostatecznym dowodem prawdy jest eksperyment. Nie jest nim dobre samopoczucie czerpane z założenia powziętego z góry ani nie jest nim piękno lub elegancja, jakie można przypisać modelowi teoretycznemu.

Rezultaty eksperymentów, które opiszę, nadeszły w samą porę i zupełnie nieoczekiwanie. Opowieść o ewolucji naszego Wszechświata w wydaniu naukowym jest znacznie bardziej fascynująca niż jakikolwiek obraz czy pełna polotu historia, jaką

ludzie wymyślili. Natura ma niespodzianki, które znacznie bardziej zaskakują niż te, które zdolna jest stworzyć ludzka wyobraźnia.

W ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpiła ekscytująca seria odkryć w kosmologii, teorii cząstek i teorii grawitacji, która zmieniła zupełnie sposób, w jaki postrzegamy Wszechświat, co ma bardzo głębokie implikacje dla zrozumienia jego początków i jego dalszej przyszłości. Trudno więc znaleźć ciekawszy temat do opisania.

Inspiracją do napisania tej książki nie jest chęć położenia kresu mitom ani atakowanie wiary, lecz wyrażenie podziwu dla wiedzy, a razem z nią dla zaskakującego i fascynującego Wszechświata, jakim okazał się nasz własny.

Nasze poszukiwania to szaleńcza podróż do najdalszych zakątków rozszerzającego się Wszechświata, od najwcześniejszych momentów po Wielkim Wybuchu do bardzo odległej przyszłości, a po drodze napotkamy być może najbardziej zaskakujące odkrycie w dziedzinie fizyki, jakiego dokonano w ostatnim stuleciu.

Rzeczywiście bezpośredni wpływ na napisanie tej książki wywarło niezwykle ważne odkrycie, stanowiące przez ostatnich trzydzieści lat motyw przewodni moich własnych badań naukowych, które prowadzi do zdumiewającego wniosku, że większość energii Wszechświata występuje w pewnej jeszcze dotąd niewyjaśnionej, tajemniczej formie przenikającej całą pustą przestrzeń. Można śmiało powiedzieć, że to odkrycie zmieniło zupełnie domenę badań współczesnej kosmologii.

Bardzo silnie wsparło ono ideę powstania Wszechświata z niczego. Dzięki niemu przejrzeliśmy od nowa wiele założeń dotyczących procesów, które mogły kierować ewolucją Wszechświata, i przemyśleliśmy ostatecznie zagadnienie fundamentalnego charakteru praw natury. Jak mam zamiar wykazać, każde z tych zagadnień powoduje, że pytanie, dlaczego raczej istnieje coś niż nic, nie wydaje się teraz tak głębokie, jeśli nie zupełnie płytkie.

Książka zrodziła się z wykładu pod tym samym tytułem, który prowadziłem w Los Angeles w listopadzie 2009 roku. Ku memu zaskoczeniu zapis wideo z tego wykładu, umieszczony na YouTubie dzięki fundacji Richarda Dawkinsa, stał się czymś w rodzaju sensacji i miał więcej niż półtora miliona wejść do czasu napisania tego

wydania książki. A wiele jego części było podstawą debat toczonych zarówno przez ateistów, jak i wierzących.

Z powodu zainteresowania tym tematem, a także z powodu pewnych mylących komentarzy zamieszczanych w Internecie po moim wykładzie pomyślałem, że warto stworzyć w tej książce pełniejszą interpretację idei, które już wtedy wyłożyłem. Teraz mogę rozszerzyć poprzednią argumentację dotyczącą rewolucji, jaka zaszła ostatnio w kosmologii i była związana z odkryciami energii i geometrii przestrzeni, odkryciami, które zmieniły obraz naszego Wszechświata.

Dużo myślałem o wielu poprzednikach i ideach służących mi za podstawę mych wywodów. Omawiałem to z osobami, które zareagowały z zaraźliwym entuzjazmem. Dogłębniej przedstawiłem wpływ, jaki odkrycia w fizyce cząstek elementarnych mają na zagadnienie początków Wszechświata i jego własności. W końcu przedstawiłem swoje argumenty tym, którzy gwałtownie się im przeciwstawiali, co pozwoliło mi poczynić pewne spostrzeżenia umożliwiające udoskonalenie mych wywodów.

Podczas opisywania przedstawionych tu idei ogromnie skorzystałem z dyskusji z kilkoma niezwykle wnikliwymi kolegami fizykami. W szczególności chcę podziękować Alanowi Guthowi i Frankowi Wilczkowi za poświęcony mi czas na dyskusję i korespondencję. Umożliwiło mi to uporządkowanie i wzmocnienie mojej interpretacji.

Ośmielony przez Leslie Meredith i Dominicka Anfuso z wydawnictwa Simon & Schuster, zainteresowanych napisaniem książki na ten temat, skontaktowałem się z mym przyjacielem Christopherem Hitchensem, który poza tym, że jest jednym z najbardziej wykształconych i błyskotliwych osób, jakie znam, posługiwał się argumentami z mojego wykładu w niezwykłej serii debat o nauce i religii. Christopher, jak zwykle życzliwy pomimo złego stanu zdrowia, wspaniałomyślnie i dzielnie zgodził się napisać wstęp. Za ten akt przyjaźni i zaufania jestem mu ogromnie wdzięczny. Niestety, choroba rozwinęła się do tego stopnia, że ukończenie wstępu okazało się niemożliwe. Christopher zmarł tuż przed pojawieniem się pierwszego wydania tej książki. Bardzo będzie mi go brakować, a świat bez niego stał się jeszcze bardziej pusty.

Mój elokwentny, błyskotliwy, uznany uczony i pisarz Richard Dawkins już wcześniej zgodził się napisać posłowie. Gdy tylko pierwszy szkic tej książki był gotowy, bezzwłocznie stworzył coś, czego piękno i klarowność wprawia w osłupienie i jednocześnie jest pouczające. Pozostaję nadal w zachwycie. Składam serdeczne podziękowania Christopherowi, Richardowi oraz wszystkim wyżej wymienionym za dodawanie otuchy, wsparcie i za zmotywowanie mnie jeszcze raz do pisania.

# Rozdział 1

# Opowieść o kosmicznej tajemnicy. Początki

*Oto podstawowa tajemnica każdej podróży: przede wszystkim jak podróżny dotarł do miejsca, z którego ją zaczął?*

Louise Bogan, *Journey Around My Room*

## NOC BYŁA CIEMNA I BURZOWA

Na początku 1916 roku Albert Einstein ukończył najważniejszą pracę swego życia, trwającą dziesięć lat batalię o stworzenie nowej teorii grawitacji, którą nazwał ogólną teorią względności. Nie była to tylko nowa teoria grawitacji, lecz także nowa teoria przestrzeni i czasu. I była to pierwsza teoria naukowa, która potrafiła wytłumaczyć, zarówno jak obiekty poruszają się we Wszechświecie, jak i ewoluuje sam Wszechświat.

Był jednak mały szkopuł. Gdy Einstein postanowił zastosować swoją teorię do opisu Wszechświata jako całości, stało się jasne, że nie opisuje ona takiego wszechświata, w którym – jak się wydawało – żyjemy.

Teraz, prawie sto lat później, trudno w pełni docenić, jak nasz obraz Wszechświata zmienił się w ciągu tego czasu. W 1917 roku społeczność naukowa uważała Wszechświat za statyczny i wieczny, składający się z pojedynczej galaktyki, naszej Drogi Mlecznej, otoczonej przez ogromną, nieskończoną, ciemną i pustą przestrzeń.

Tego przecież można się spodziewać, patrząc w nocne niebo okiem nieuzbrojonym albo przez mały teleskop, i w tamtych czasach nie było powodu, aby oczekiwać czegoś innego.

W teorii Einsteina, tak jak przedtem w teorii Newtona, grawitacja jest siłą przyciągającą do siebie wszystkie obiekty. Oznacza to, że zbiór masywnych obiektów w przestrzeni nie może być w bezruchu całą wieczność. Ich wzajemne oddziaływanie grawitacyjne w końcu doprowadzi do kolapsu w kierunku środka masy, co jest w jawnej sprzeczności z obserwowanym Wszechświatem, który pozornie wygląda na statyczny.

Stwierdzenie, że teoria względności nie wydawała się spójna z obrazem Wszechświata, jaki obowiązywał w tamtych czasach, było znacznie większym ciosem dla Einsteina, niż możemy to sobie wyobrazić. Pozwala mi jednak pozbyć się mitu o Einsteinie i ogólnej teorii względności, który zawsze był dla mnie kłopotliwy. Powszechnie uważa się, że Einstein pracował latami w izolacji, w zamkniętym pokoju, i posługując się jedynie czystym rozumowaniem, wynalazł swą piękną teorię niezależnie od rzeczywistości (być może podobnie jak obecnie teoretycy strun!). Nic bardziej odległego od prawdy.

Eksperymenty i obserwacje były dla Einsteina zawsze drogowskazem. Zanim ostatecznie stworzył piękną matematycznie teorię, w ciągu prawie dziesięciu lat przeprowadzał wiele „eksperymentów myślowych", musiał nauczyć się zupełnie nowej dla niego matematyki i wielokrotnie błądził po teoretycznych manowcach. Jednak najbardziej znaczący moment w jego przygodzie ze względnością związany był z obserwacją. W ostatnich gorączkowych tygodniach podczas kończenia pracy nad teorią, rywalizując z niemieckim matematykiem Davidem Hilbertem, użył swych równań do przewidzenia czegoś, co mogło wydawać się mało znaczącym efektem astrofizycznym, małej precesji peryhelium (punkt najbliższego zbliżenia) Merkurego na orbicie wokół Słońca.

Astronomowie od dłuższego czasu zauważali, że orbita Merkurego odbiegała od wartości, którą przewiduje dynamika newtonowska. Zamiast być doskonałą elipsą, doznawała bardzo małej precesji (planeta nie powracała w to samo miejsce orbity po jednym

okrążeniu, tylko elipsa orbity przesuwała się po każdym okrążeniu, zakreślając w przestrzeni coś na kształt spirali) wyrażonej wielkością 43 sekund łuku (około jednej setnej stopnia) na sto lat.

Gdy Einstein wykonał swe obliczenia orbity w ramach ogólnej teorii względności, otrzymał natychmiast poprawną wartość liczbową peryhelium. Tak opisuje to zdarzenie biograf Einsteina, Abraham Pais: „Wierzę, że to odkrycie było najsilniejszym przeżyciem emocjonalnym w życiu naukowym Einsteina, a może również w całym jego życiu”[1]. Einstein mówił, że miał palpitacje serca, tak jakby „coś się w nim zerwało”. Miesiąc później, gdy opisywał swą teorię przyjacielowi, nazywając ją „niezrównanie piękną”, widoczne stało się zadowolenie z jej matematycznej postaci, ale o żadnych palpitacjach mowy już nie było.

1 A. Pais, *Pan Bóg jest wyrafinowany… Nauka i życie Alberta Einsteina,* przeł. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001, s. 258 (przyp. red.).

Oczywista rozbieżność między ogólną teorią względności a obserwacją dotyczącą statycznego charakteru Wszechświata długo jednak nie potrwała. (Chociaż była przyczyną, dla której Einstein wprowadził modyfikację do swej teorii, a potem nazwał ją swą największą pomyłką. Ale o tym później). Każdy dzisiaj wie (z wyjątkiem pewnych rad szkolnych w USA), że Wszechświat nie jest statyczny, lecz się rozszerza i że rozszerzanie to rozpoczęło się w niewiarygodnie gorącym, gęstym Wielkim Wybuchu około 13,72 miliarda lat temu. Równie ważne jest to, że nasza Galaktyka jest zaledwie jedną z być może czterystu miliardów galaktyk zawartych w obserwowalnej części Wszechświata. Teraz, podobni do średniowiecznych kartografów, dopiero rozpoczynamy tworzenie mapy kosmosu w jego największych skalach. Nic dziwnego, że w ostatnich dekadach dokonały się tak rewolucyjne zmiany w jego postrzeganiu.

Odkrycie, że Wszechświat nie jest statyczny, lecz się rozszerza, ma wielkie znaczenie filozoficzne i religijne, ponieważ sugeruje, że ma on początek. Początek implikuje stworzenie, a stworzenie wzbudza

emocje. Chociaż po odkryciu w 1929 roku rozszerzania się Wszechświata trzeba było kilkudziesięciu lat, nim doszło do niezależnego empirycznego potwierdzenia Wielkiego Wybuchu, papież Pius XII już w 1951 roku uznał go za dowód stworzenia. Ujął to tak:

> Wydaje się, że współczesnej nauce udało się jednym krokiem wstecz poprzez tysiąclecia doświadczyć tej wzniosłej chwili pierwotnego *fiat lux* [Niech się stanie światłość], gdy razem z materią dokonała się eksplozja z niczego morza światła i promieniowania, gdy pierwiastki, dzieląc się, formowały miliony galaktyk. Tak oto, z dokładnością charakterystyczną dla dowodów fizycznych, [nauka] potwierdziła powstanie Wszechświata, a dzięki dobrze uzasadnionemu rozumowaniu określiła epokę jego powstania z rąk stwórcy. Wyciągamy stąd wniosek, że stworzenie miało miejsce. Stwierdzamy: „A zatem jest stwórca. Bóg istnieje!".

Cała historia jest w rzeczywistości trochę bardziej interesująca. W istocie pierwszą osobą, która zaproponowała hipotezę Wielkiego Wybuchu, był belgijski ksiądz i fizyk zarazem, Georges Lemaître. Lemaître posiadał wiedzę w wielu dziedzinach. Studia rozpoczął od inżynierii, a podczas I wojny światowej był artylerzystą i został odznaczony medalem. Potem we wczesnych latach dwudziestych przerzucił się na matematykę w czasie studiów w seminarium duchownym. Następnie studiował kosmologię, najpierw u sir Arthura Eddingtona, a potem na Harvardzie, i w końcu uzyskał drugi doktorat – z fizyki w Massachusetts Institute of Technology.

W 1927 roku, zanim otrzymał swój drugi doktorat, Lemaître w zasadzie rozwiązał równania ogólnej teorii względności Einsteina i wykazał, że teoria ta przewiduje dynamiczny wszechświat, co oznaczało, że ten, w którym żyjemy, musi się rozszerzać. Ów wniosek wydał się tak szokujący, że sam Einstein wyraził sprzeciw, mówiąc mu wprost: „pańska matematyka jest bez zarzutu, ale pańska fizyka jest okropna".

Lemaître nie poddawał się i w 1930 roku zasugerował, że nasz rozszerzający się Wszechświat rozpoczął swój byt w nieskończenie małym punkcie, który nazwał „pierwotnym atomem", ów początek zaś – „dniem bez wczoraj", co być może miało być aluzją do Księgi Rodzaju.

W ten sposób Wielki Wybuch, z takim szacunkiem potraktowany przez papieża Piusa i powyżej ogłoszony, był pomysłem księdza. Można przypuszczać, że Lemaître'owi sprawiłoby ogromną przyjemność to papieskie uprawomocnienie, ale on od razu porzucił myśl, że to naukowe odkrycie może mieć jakiekolwiek teologiczne konsekwencje, i usunął odpowiedni ustęp ze swej pracy o Wielkim Wybuchu z 1931 roku.

W istocie Lemaître wyraził obiekcję wobec ogłoszonego w 1951 roku papieskiego dowodu stworzenia przez Wielki Wybuch (zdał sobie sprawę z tego, że gdyby jego teoria okazała się fałszywa, to dowody Kościoła katolickiego w sprawie *genesis* zostałyby podważone). Do tego czasu został wybrany do Watykańskiej Akademii Nauk, a później stał się jej przewodniczącym. Sam ujął to tak: „W moim pojęciu tego rodzaju teoria zupełnie nie dotyczy jakichkolwiek zagadnień metafizycznych czy religijnych". A papież już nigdy więcej publicznie nie wypowiedział się na ten temat.

Płynie stąd bardzo cenna lekcja. Jak zauważył Lemaître, to, czy Wielki Wybuch rzeczywiście zdarzył się czy nie, to problem naukowy, a nie religijny. Ponadto nawet jeśli Wielki Wybuch nastąpił (na co wskazują wszelkie dowody), każdy mógłby interpretować ten fakt odmiennie w zależności od swych przekonań religijnych lub metafizycznych. Można sobie wyobrażać, że jest to dzieło stwórcy, jeśli mamy takie przekonania, albo zamiast tego twierdzić, że matematyka ogólnej teorii względności wyjaśnia ewolucję Wszechświata wstecz aż do jego narodzin bez potrzeby uwzględniania ingerencji jakiegokolwiek bóstwa. Takie metafizyczne rozważania nie mają wpływu na słuszność samej fizyki Wielkiego Wybuchu i są nieistotne w procesie jej poznawania. Oczywiście jeśli zrobimy krok poza rozszerzający się Wszechświat i będziemy chcieli zrozumieć prawa fizyki, które doprowadziły do jego powstania, to,

jak będę dowodził, nauka jest w stanie rzucić światło na to zagadnienie.

W każdym razie ani Lemaître, ani papież Pius nie przekonali świata naukowego, że Wszechświat się rozszerza. Natomiast, tak jak zawsze dzieje się w nauce, dowodów dostarczyły bardzo starannie prowadzone obserwacje dokonane przez Edwina Hubble'a, którego postać wciąż podtrzymuje mą wiarę w ludzkość, bo zaczynał jako prawnik, a dopiero potem został astronomem.

Hubble dokonał przełomu w 1925 roku dzięki nowemu, będącemu wtedy największym takim urządzeniem na świecie, dwuipółmetrowemu teleskopowi Hookera zamontowanemu w obserwatorium na Mount Wilson. (Dla porównania: obecnie buduje się teleskopy o średnicy dziesięć razy większej i powierzchni sto razy większej!). Do tamtego czasu dostępnymi im teleskopami astronomowie obserwowali blade obrazy obiektów, które nie były gwiazdami w naszej Galaktyce. Nazywano je mgławicami, bo były „rozmyte" (wyglądały jak coś w rodzaju chmur). Zastanawiano się także, czy są to obiekty leżące w naszej Galaktyce czy też poza nią.

A ponieważ przeważał pogląd, że poza naszą Galaktyką w kosmosie nie ma nic, większość astronomów należała do obozu uważającego mgławice za obiekty z naszej Galaktyki. Przywództwo w tym obozie sprawował znany astronom Harlow Shapley z Harvardu. Shapley porzucił szkołę w piątej klasie i od tej pory uczył się sam, w końcu zaś trafił do Princeton. Wybrał studiowanie astronomii, ponieważ była to pierwsza dziedzina wymieniona w programie nauczania uniwersytetu. Jego nowatorskim odkryciem było wykazanie, że Droga Mleczna jest znacznie większa, niż wcześniej uważano, a Słońce nie leży w jej centrum, lecz na dość mało interesującym obrzeżu. Miał bardzo duży wpływ na astronomię i dlatego jego pogląd na naturę mgławic bardzo się liczył.

Pierwszego stycznia 1925 roku Hubble opublikował rezultaty swych dwuletnich badań nad mgławicami spiralnymi, w których, łącznie z tą zwaną dzisiaj Andromedą, zidentyfikował pewien typ gwiazd zmiennych zwanych cefeidami.

Cefeidy zostały po raz pierwszy zaobserwowane w 1784 roku. Są to gwiazdy, których jasność zmienia się w regularnych odstępach czasu.

W 1908 roku do pracy w obserwatorium uniwersyteckim na Harvardzie na stanowisko „obliczeniowca” została przyjęta nieznana i niedoceniana jeszcze przyszła astronom, Henrietta Swan Leavitt. („Obliczeniowcami” były kobiety zatrudnione do katalogowania jasności gwiazd rejestrowanych na płytach fotograficznych w obserwatorium. W tym czasie nie pozwalano im prowadzić obserwacji za pomocą teleskopu). Leavitt, córka duchownego i potomka pierwszych kolonistów, dokonała zdumiewającego odkrycia, które wyjaśniła później w 1912 roku. Zauważyła związek między jasnością absolutną cefeid a okresem ich pulsacji. Mając zatem odległość do najbliższej cefeidy o znanym okresie pulsacji (wyznaczono ją w 1913 roku), możemy na podstawie pomiaru jasności innych cefeid o tym samym okresie pulsacji obliczać odległość innych tego typu gwiazd!

Odkrycie Leavitt zrewolucjonizowało astronomię, ponieważ wyznaczanie odległości do bardzo odległych gwiazd zawsze było trudnym wyzwaniem. Obserwowana jasność jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości gwiazdy, światło bowiem rozprasza się jednorodnie wokół gwiazdy. Jeśli nakreślić sferę, której środkiem jest gwiazda, to natężenie światła w każdym punkcie powierzchni sfery zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do powierzchni sfery. W efekcie gdy odległość do gwiazdy rośnie dwukrotnie, jej jasność maleje czterokrotnie. Sam Hubble, który został pominięty przez Komitet Noblowski, często mówił, że osiągnięcie Leavitt zasługuje na Nagrodę Nobla, chociaż był na tyle wyrachowany, by prawdopodobnie przypuszczać, że byłby jej naturalnym współlaureatem za swe późniejsze prace. Szwedzka Akademia Nauk rozpoczęła procedurę nominacji Leavitt do Nagrody Nobla w 1924 roku, gdy nagle zdano sobie sprawę, że zmarła ona na raka trzy lata wcześniej. Dzięki sile osobowości, umiejętności promowania samego siebie i talentowi w przeprowadzaniu obserwacji nazwisko Hubble’a stało się powszechnie znane, natomiast o Leavitt wiedzą tylko miłośnicy astronomii.

Hubble poprzez obserwacje cefeid i wiedząc o związku między ich jasnością a odległością odkrytym przez Leavitt, zdołał udowodnić, że cefeidy w Andromedzie i kilku innych mgławicach są zbyt daleko, aby

mogły należeć do Drogi Mlecznej. Andromeda okazała się zatem inną wyspą we Wszechświecie, jeszcze jedną galaktyką spiralną, całkiem podobną do naszej, jedną z co najmniej czterystu miliardów innych galaktyk, o których wiemy, że istnieją w naszym obserwowalnym Wszechświecie. Wynik Hubble'a był dostatecznie jednoznaczny, aby astronomowie – łącznie z Shapleyem, który, nawiasem mówiąc, został w tym czasie dyrektorem obserwatorium na Uniwersytecie Harvarda, gdzie Leavitt dokonała swego epokowego odkrycia – szybko zaakceptowali fakt, że Droga Mleczna nie jest wszystkim tym, co nas wokół otacza. Nagle, jak za pomocą czarodziejskiej różdżki, znana od stuleci wielkość Wszechświata ogromnie się powiększyła. Zmienił się także jego charakter.

Po tym imponującym odkryciu Hubble mógłby spocząć na laurach, ale on zarzucił haczyk na jeszcze większe ryby, w tym wypadku większe galaktyki. Obserwując jeszcze mniej widoczne cefeidy w jeszcze bardziej odległych galaktykach, zdołał dokonać pomiarów Wszechświata w jeszcze większej skali. Gdy tego dokonał, odkrył rzecz najbardziej zadziwiającą: Wszechświat się rozszerza!

Hubble porównał odległości do obserwowanych przez siebie galaktyk z danymi uzyskanymi przez innego amerykańskiego astronoma, Vesta Sliphera, który analizował widma światła gwiazd położonych w tych samych galaktykach. Zrozumienie, czym są widma światła gwiazd i jaka jest ich natura, wymaga, abym cofnął się do początków współczesnej astronomii.

Jednym z najważniejszych odkryć w astronomii było zrozumienie tego, że materia gwiezdna i materia ziemska są w dużej mierze takie same. Zaczęło się to, jak wszystko we współczesnej nauce, od Izaaka Newtona. Newton w 1665 roku, będąc jeszcze młodym uczonym, dokonał eksperymentu w zaciemnionym pokoju, przepuszczając promień słoneczny, wychodzący ze szpary w zasłonie, przez szklany pryzmat i otrzymał dobrze znane nam rozszczepienie kolorów na barwy tęczy. Ten wynik doprowadził go do wniosku, że białe światło pochodzące ze Słońca jest mieszaniną otrzymanych przez niego kolorów. I miał pełną rację.

Sto pięćdziesiąt lat później inny uczony badał dokładniej rozszczepione światło i odkrywszy ciemne prążki pomiędzy kolorami, doszedł do wniosku, że związane są one z istnieniem w zewnętrznych warstwach Słońca substancji, które absorbują światło o pewnych ściśle określonych barwach albo ściśle określonych długościach fal. Te „linie absorpcyjne", jak je później nazwano, można identyfikować za pomocą długości fal, jakie absorbują znane na Ziemi pierwiastki chemiczne, takie jak wodór, tlen, żelazo, sód i potas.

W 1868 roku inny uczony zaobserwował w żółtej części widma słonecznego dwie nowe linie absorpcyjne, które nie odpowiadały żadnemu znanemu dotąd pierwiastkowi. To doprowadziło go do wniosku, że na Słońcu występuje nieznany na Ziemi pierwiastek, który nazwał w związku z tym helem. Dopiero badacze następnego pokolenia wyizolowali pierwiastek ten na Ziemi.

Badanie widma promieniowania gwiazd jest jednym z najważniejszych narzędzi służących do ustalenia składu chemicznego, temperatury i ewolucji ich materii. Od 1912 roku Slipher obserwował widmo światła pochodzącego z różnych mgławic spiralnych i odkrył, że widma te są podobne do obserwowanych w najbliższych nam gwiazdach, z tą jedną różnicą, że wszystkie linie absorpcyjne są przesunięte o taką samą długość fali.

Wówczas przyjmowano, że zjawisko to powodował znany „efekt Dopplera", nazwany tak na cześć austriackiego fizyka Christiana Dopplera, który wyjaśnił w 1842 roku, że fala pochodząca z poruszającego się źródła będzie miała długość większą, gdy źródło oddala się od obserwatora, i mniejszą, gdy się do niego zbliża. Z tym efektem jesteśmy wszyscy dobrze zaznajomieni i zawsze przypomina mi on kreskówkę Sidneya Harrisa z widokiem prerii, a na nim dwóch kowbojów patrzących w dal za odjeżdżającym pociągiem. Jeden z nich mówi do drugiego: „Uwielbiam ten tęskny gwizd lokomotywy i zmianę jego częstości na skutek efektu Dopplera!". Rzeczywiście gwizd lokomotywy albo syrena karetki pogotowia ma większą częstość, gdy pojazd zbliża się ku nam, i niższą, gdy się od nas oddala.

Okazało się, że to samo zjawisko dotyczy fal świetlnych i fal dźwiękowych, choć prawdopodobnie z nieco innych powodów. Fala świetlna pochodząca z oddalającego się od nas źródła albo z powodu swego lokalnego ruchu w przestrzeni, albo rozszerzania się przestrzeni pomiędzy nim i nami, będzie rozciągana i w wyniku tego przesunięta ku czerwieni, ponieważ kolor czerwony to fale o dużych długościach. Gdy zaś obiekt przybliża się do nas, będzie bardziej ściśnięta i dlatego wydawać się będzie bardziej niebieskawa.

Slipher zaobserwował w 1912 roku, że linie absorpcyjne w świetle dochodzącym z mgławic spiralnych były prawie wszystkie systematycznie przesunięte ku większym długościom fal (chociaż niektóre, takie jak z Andromedy, były przesunięte ku mniejszym długościom fal). Jak słusznie z tego wywnioskował, większość obiektów oddala się od nas z dość znacznymi prędkościami.

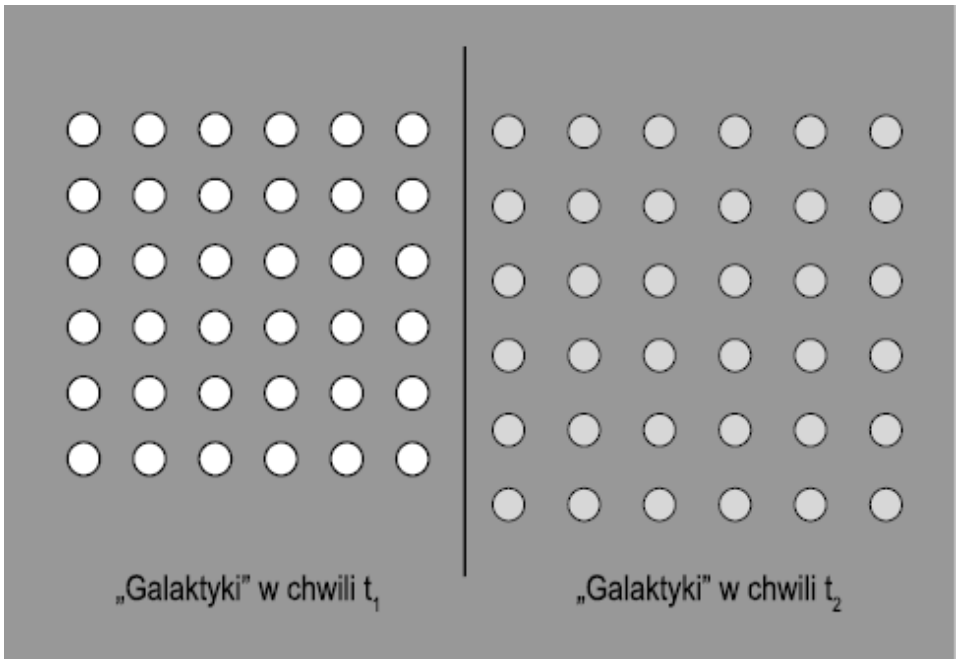
Hubble miał możliwość porównania swych pomiarów odległości mgławic spiralnych z dokonanymi przez Sliphera pomiarami ich prędkości oddalania się. W 1929 roku z pomocą technika z obserwatorium na Mount Wilson, Miltona Humasona (był on tak uzdolniony technicznie, że otrzymał pracę w obserwatorium, nie mając nawet średniego wykształcenia), dokonał odkrycia zadziwiającego prawa empirycznego, teraz zwanego prawem Hubble'a, które mówi, że między prędkością oddalania się galaktyki a jej odległością występuje prosta proporcjonalność. To znaczy, że im dalej znajduje się galaktyka, tym szybciej się od nas oddala!

Gdy słyszy się po raz pierwszy o tej zależności, można by pomyśleć, że prawie wszystkie galaktyki oddalają się od nas, a te, które są dwa razy bardziej odległe, oddalają się dwa razy szybciej, te trzy razy bardziej odległe – trzy razy szybciej i tak dalej, co oczywiście musi oznaczać, iż *stanowimy centrum Wszechświata!*

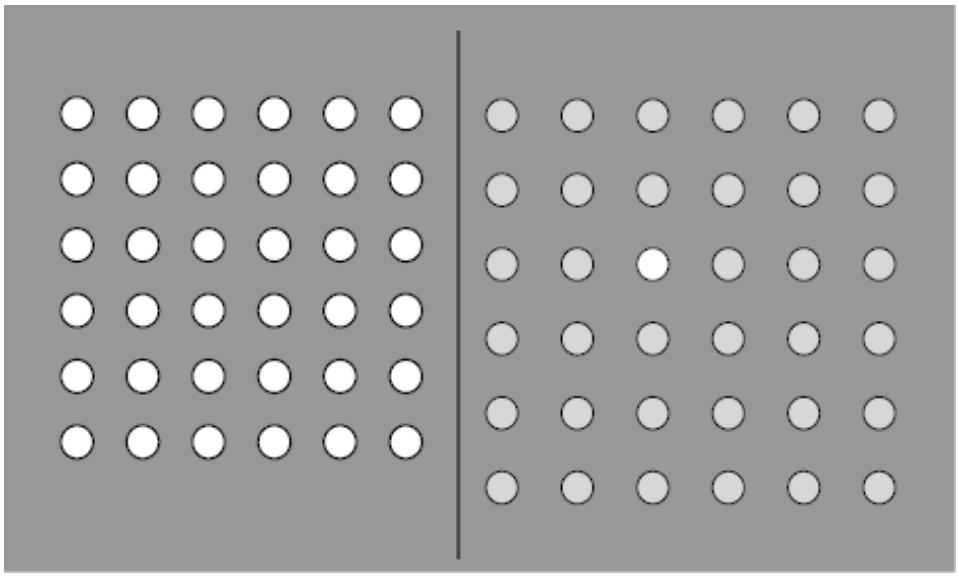
Jak sugerują niektórzy znajomi, powinno mi się codziennie przypominać, *że tak nie jest*. A raczej jest tak, jak przewidywał Lemaître. Nasz Wszechświat rzeczywiście się rozszerza.

Próbowałem wyjaśnić to zjawisko na różne sposoby i szczerze mówiąc, nie wydaje mi się, aby istniał jakiś dobry sposób, dopóki nie rozumuje się z pozycji obserwatora zewnętrznego, w tym wypadku znajdującego się na zewnątrz Wszechświata. Aby zrozumieć, do

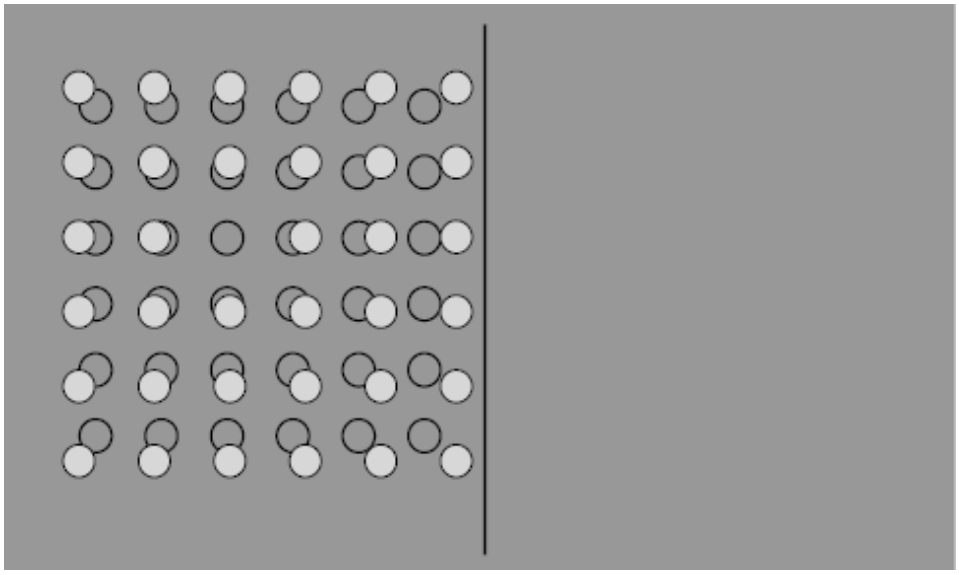
czego prowadzi prawo Hubble'a, musimy się usunąć z punktu obserwacyjnego wewnątrz naszej Galaktyki i spojrzeć na nasz Wszechświat z zewnątrz. Chociaż trudno wyobrazić sobie oglądanie z zewnątrz trójwymiarowego wszechświata, łatwo można oglądać z zewnątrz jakiś dwuwymiarowy. Na następnej stronie narysowałem rozszerzający się dwuwymiarowy wszechświat w dwóch momentach. Jak można się przekonać, galaktyki są bardziej odległe w tym drugim momencie.




A teraz wyobraźmy sobie, że w chwili $t_2$ mieszkamy w jednej z galaktyk oznaczonej na poniższym rysunku kolorem białym.



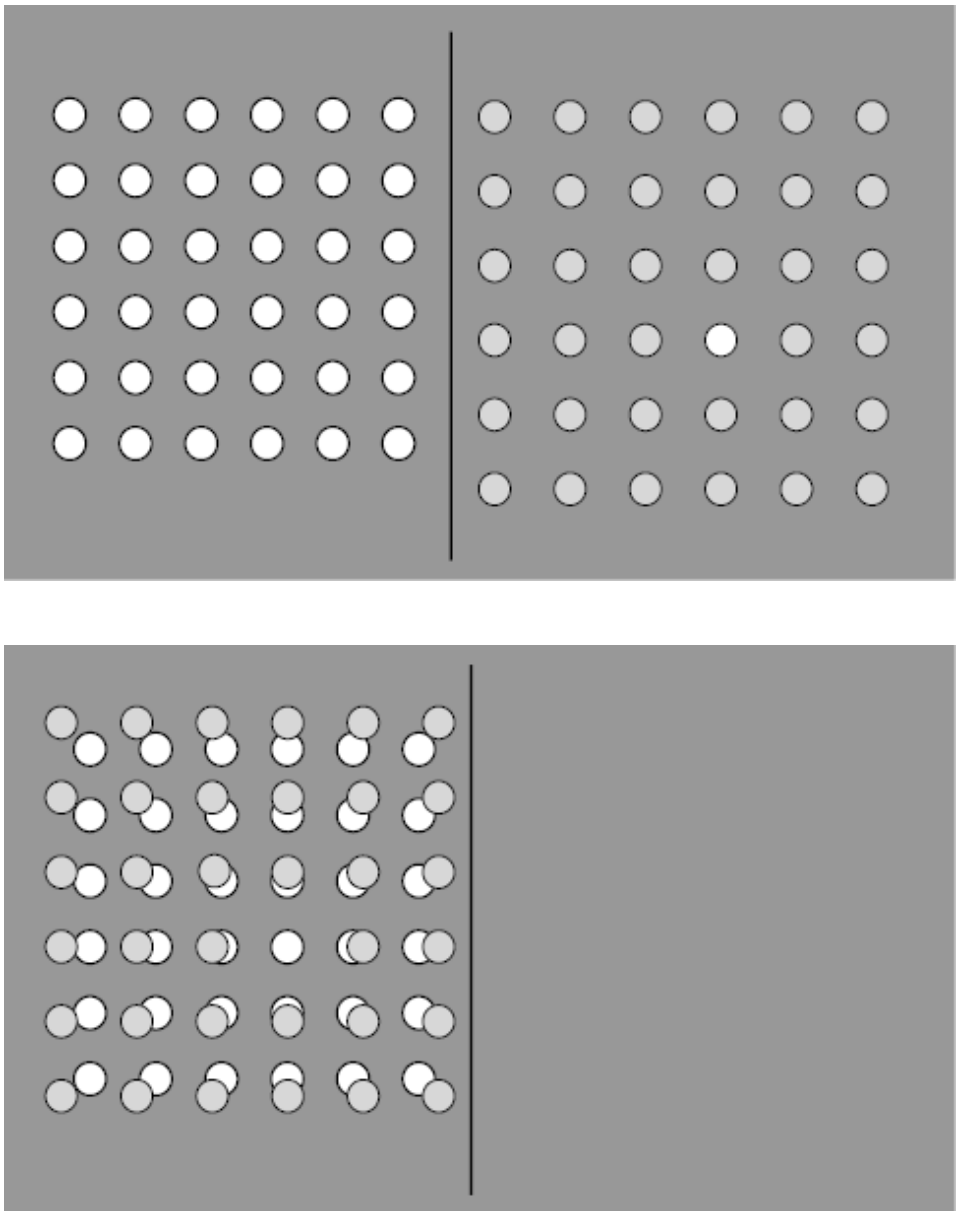
Aby się przekonać, jak ewolucja będzie wyglądała z punktu obserwacyjnego umieszczonego w tej galaktyce, nałożę na siebie dwa panele, ten z prawej strony drugiego rysunku na pierwszy z lewej strony pierwszego rysunku.



*Voilà!* Patrząc z tego punktu odniesienia, zauważymy, że każda galaktyka się oddala, a te, które są dwa razy dalej, przebywają dwa razy większą odległość w tym samym czasie, natomiast te odległe trzy razy dalej przebywają trzy razy większą odległość w tym samym

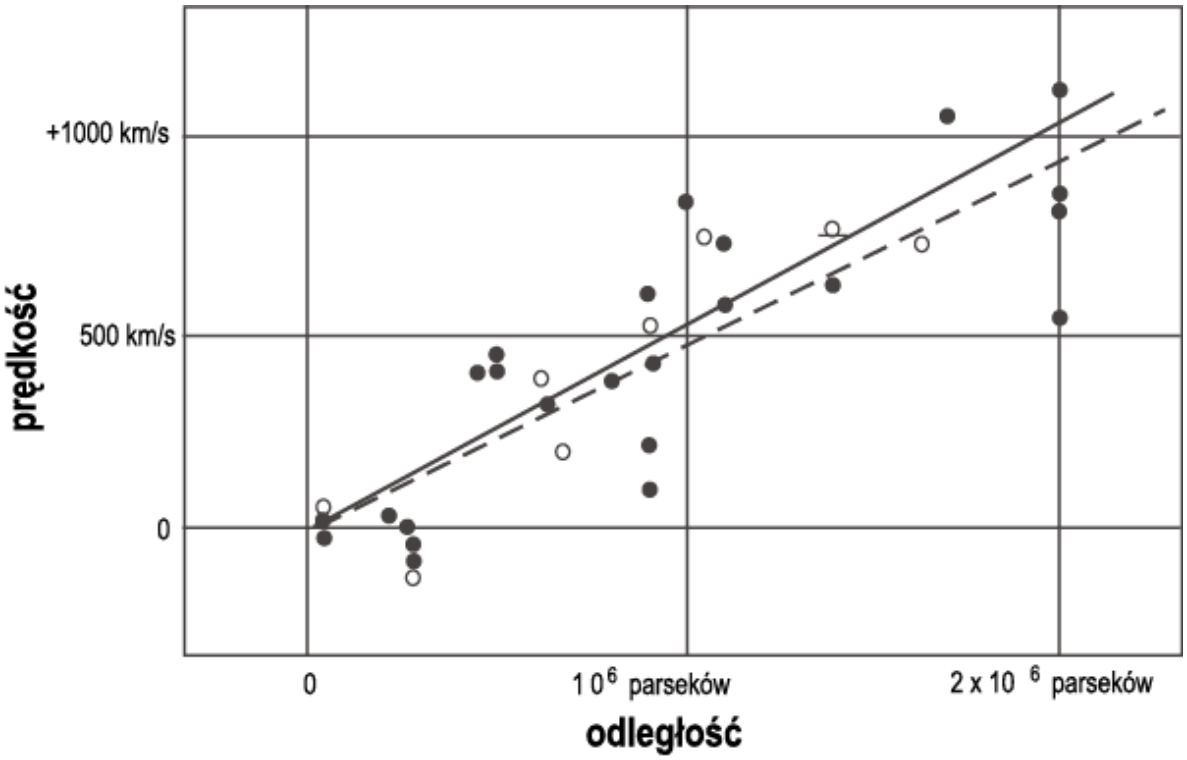
czasie i tak dalej. Jeśli tylko nie ma krawędzi, to każdy w swojej galaktyce ma wrażenie, że znajduje się w centrum ekspansji.

Nie ma znaczenia, jaką galaktykę się wybierze. Wybierzmy inną i powtórzmy wszystko od początku:



A zatem albo *każdy punkt* jest centrum Wszechświata, albo *nie ma takiego w ogóle*. Nie ma to znaczenia. Prawo Hubble'a powstaje na skutek tego, że Wszechświat się rozszerza.

Gdy Hubble i Humason w 1929 roku przedstawili swoją analizę, nie tylko zasygnalizowali liniową zależność między odległością i prędkością ucieczki, ale także oszacowali ilościowo samo tempo ekspansji. Oto dane zaprezentowane wówczas przez nich:




Jak można zauważyć, połączenie tych danych linią prostą przez Hubble'a wygląda raczej na szczęśliwy traf. (Można tu zaobserwować istnienie jakiejś zależności, ale nie jest pewne, że prosta proporcjonalność wyraża najlepszą zależność pomiędzy prezentowanymi danymi). Wartość liczbowa tempa ekspansji, jaką badacze obliczyli z wykresu, sugeruje, że galaktyka odległa o milion parseków (trzy miliony lat świetlnych) – a jest to średnia odległość pomiędzy galaktykami – oddala się od nas z prędkością około 500 kilometrów na sekundę. Jednak z tym oszacowaniem nie mieli już takiego szczęścia.

Powód tego względnie łatwo zrozumieć. Jeśli obecnie wszystko oddala się od siebie, to wcześniej było bliżej siebie. A jeśli grawitacja jest oddziaływaniem przyciągającym, to będzie wyhamowywać

ekspansję Wszechświata. Oznacza to, że galaktyki dzisiaj oddalające się od siebie z prędkością 500 kilometrów na sekundę wcześniej poruszały się znacznie szybciej.

Jeśli jednak na chwilę założymy, że galaktyka zawsze uciekała z taką prędkością, to możemy jej ruch odwrócić wstecz i dowiedzieć się, kiedy znajdowała się w tym położeniu, w jakim dziś jest nasza Galaktyka. A ponieważ galaktyki odległe dwa razy dalej poruszają się dwa razy szybciej, jeśli odwrócimy bieg zdarzeń, to dojdziemy do wniosku, że znajdowały się w naszym miejscu w tym samym czasie. Rzeczywiście cały obserwowalny Wszechświat można skupić w punkcie, Wielkim Wybuchu, w chwili, którą wyznaczamy w taki właśnie sposób.

Takie oszacowanie jest oczywiście górną granicą wieku Wszechświata, ponieważ jeśli galaktyki poruszały się kiedyś szybciej, to znalazły się na miejscu, w którym są dziś, w znacznie krótszym czasie, niż to oszacowanie sugeruje.

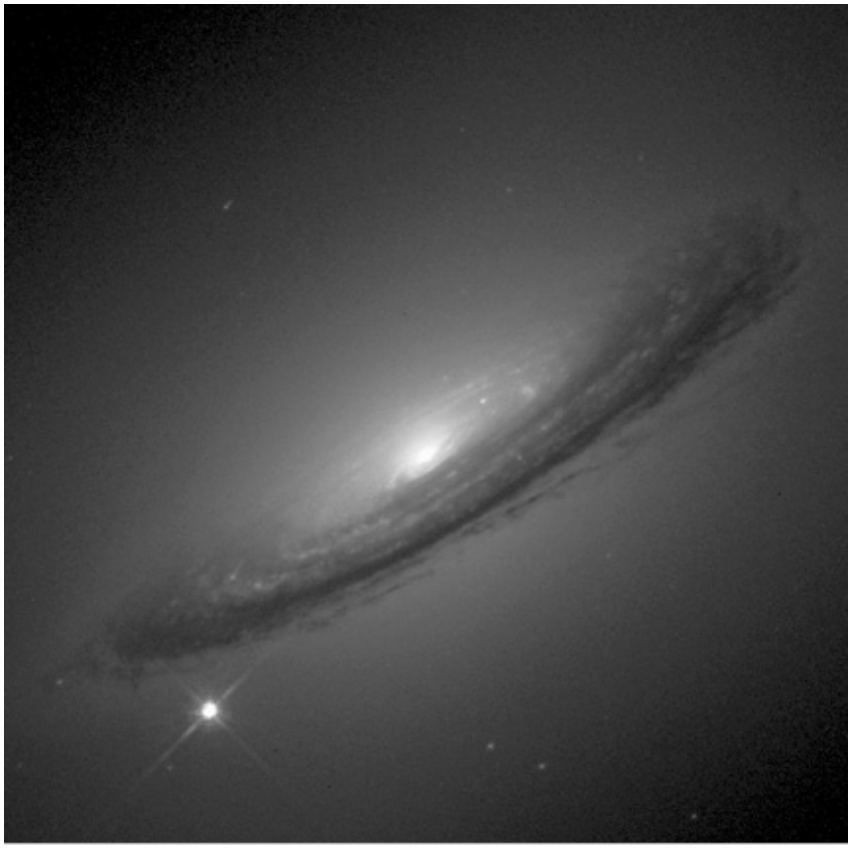
Analiza Hubble'a wskazywała, że Wielki Wybuch wydarzył się około półtora miliarda lat temu. Jednak nawet w 1929 roku dowody wskazywały na to, że Ziemia była starsza niż trzy miliardy lat (ale nie dla pewnych osób z Tennessee i innych stanów traktujących Biblię dosłownie).

Stwierdzenie, że Ziemia jest starsza od Wszechświata, było dość kłopotliwe dla uczonych. A co ważniejsze, ten wynik wskazywał na jakiś błąd w analizie.

Źródłem całego problemu był fakt, że oszacowanie odległości cefeid w naszej Galaktyce dokonane przez Hubble'a obarczone było błędem systematycznym. Błędny okazał się łańcuch zależności stworzony na przykładzie najbliższych cefeid i zastosowany do obliczania odległości dalszych, potem do jeszcze dalszych i w końcu do tych znajdujących się w innych galaktykach.

Historia tego, jak odkryto i naprawiono ten błąd, jest zbyt długa i zawiła, aby opisać ją tutaj, w każdym razie nie ma już ona znaczenia, znamy bowiem dużo lepszą metodę oszacowania odległości.

Poniżej jedno z moich ulubionych zdjęć wykonanych za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a:



Pokazuje ono piękną i bardzo odległą galaktykę spiralną, z bardzo odległego momentu (ponieważ jej światło potrzebowało więcej niż 50 milionów lat, aby do nas dotrzeć). Ta przypominająca naszą galaktyka spiralna posiada około 100 miliardów gwiazd. A jasne jądro w jej środku zawiera prawdopodobnie więcej niż 10 miliardów gwiazd. Zwróćmy uwagę na gwiazdę w lewym dolnym rogu, która świeci prawie tak jasno jak wszystkie 10 miliardów gwiazd. Na pierwszy rzut oka może się wydawać, że znajduje się ona w naszej Galaktyce, a leżąc w polu obserwacji, trafiła w ten sposób na zdjęcie. W rzeczywistości odległość do niej jest taka sama jak do tej dalekiej galaktyki, czyli przekracza 50 milionów lat świetlnych.

Oczywiście nie jest to zwykła gwiazda. To gwiazda, która dopiero co eksplodowała – supernowa – jedna z najjaśniejszych, jakie można ujrzeć we Wszechświecie. Gdy gwiazda eksploduje, w krótkim okresie (w ciągu około miesiąca) świeci światłem widzialnym z jasnością około 10 miliardów gwiazd.

Na szczęście dla nas gwiazdy nie eksplodują zbyt często, średnio około raz na sto lat na galaktykę. Ale mamy szczęście, że do tego dochodzi, bo gdyby nie dochodziło, to nas by nie było. Jednym z najbardziej znanych mi romantycznych faktów dotyczących Wszechświata jest świadomość, że w zasadzie każdy atom z naszego ciała kiedyś znajdował się we wnętrzu eksplodującej gwiazdy. Ponadto istnieje duże prawdopodobieństwo, że atomy tworzące naszą prawą rękę pochodzą z innej gwiazdy niż te, z których zbudowana jest lewa. Jesteśmy dosłownie dziećmi gwiazd, gdyż nasze ciała powstały z gwiezdnego pyłu.

Skąd o tym wiemy? Otóż możemy ekstrapolować obraz Wielkiego Wybuchu wstecz do momentu, gdy Wszechświat miał już za sobą jedną sekundę życia, i obliczyć, że cała obserwowana materia była ściśnięta w gęstej plazmie, której temperatura wynosiła około 10 miliardów stopni (w skali Kelvina). W takiej temperaturze łatwo zachodzą reakcje jądrowe pomiędzy protonami i neutronami, gdy łączą się ze sobą, a potem rozdzielają na skutek dalszych zderzeń. Gdy Wszechświat się oziębiał, możemy obliczyć za pomocą tego mechanizmu, jak często pierwotne składniki materii łączyły się ze sobą, aby uformować atomy cięższe od wodoru (tzn. hel, lit i tak dalej).

Po wykonaniu takich obliczeń okazuje się, że w zasadzie żadne jądra atomowe cięższe od litu – trzeciego najlżejszego pierwiastka – nie powstały w pierwotnej kuli ognistej Wielkiego Wybuchu. Jesteśmy pewni, że obliczenia są poprawne, ponieważ oparte na nich przewidywania obfitości najlżejszych pierwiastków bardzo dobrze zgadzają się z obserwacjami. Obfitości tych najlżejszych pierwiastków – wodoru, deuteru (jądro ciężkiego wodoru), helu i litu – różnią się o dziesięć rzędów wielkości (z grubsza 25 procent masy protonów i neutronów znajduje się w jądrach helu, podczas gdy jeden neutron lub proton na 10 miliardów neutronów i protonów przypada na jądro litu). Obserwacje i przewidywania teoretyczne są zgodne w całym tym niesamowitym zakresie.

Jest to jedno z najbardziej znanych, najistotniejszych i co najważniejsze, udanych teoretycznych przewidywań informujących nas o tym, że Wielki Wybuch rzeczywiście nastąpił. *Tylko gorący*

*Wielki Wybuch mógł wytworzyć zmierzoną obfitość lekkich pierwiastków i jednocześnie mógł wyjaśnić obserwowaną obecnie ekspansję Wszechświata.* Zawsze trzymam w tylnej kieszeni kartonik z porównaniem teoretycznie obliczonej obfitości pierwiastków lekkich z obfitością wyznaczoną z obserwacji astronomicznych. Mogę w każdej chwili go pokazać osobom, które nie wierzą, że Wielki Wybuch naprawdę się zdarzył. Zazwyczaj nie posuwam się aż tak daleko w dyskusjach, ponieważ na osobach, które z góry zadecydowały, że ten obraz nie jest prawdziwy, dane nie wywierają żadnego wrażenia. Trzymam ów kartonik mimo wszystko i później zaprezentuję go w tej książce.

Choć dla niektórych lit jest ważny, o wiele ważniejsze dla reszty z nas są cięższe jądra atomowe, takie jak węgiel, azot, tlen, żelazo i tak dalej. One *nie* powstały w Wielkim Wybuchu. Jedynym miejscem, gdzie można je wytworzyć, są ogniste jądra gwiazd. A jedyna możliwość przedostania się ich do naszych ciał powstaje wtedy, gdy gwiazdy te są na tyle uprzejme, by eksplodować, rozsiewając swe produkty w kosmosie, aby pewnego dnia mogły one skupić się na małej błękitnej planecie ulokowanej w pobliżu gwiazdy zwanej Słońcem. Już około dwustu milionów gwiazd eksplodowało w historii naszej Galaktyki. Te miriady ciał niebieskich poświęciły się, aby pewnego dnia urodził się ktoś z nas. Przypuszczam, że śmiało można nazwać je zbawicielami.

Dzięki drobiazgowym obserwacjom przeprowadzonym w latach dziewięćdziesiątych XX wieku okazało się, że pewien typ eksplodujących gwiazd, nazwany supernowymi typu 1a, ma zadziwiającą własność. Te supernowe, które ze swej natury są jaśniejsze, także dłużej lśnią. Owa korelacja, choć nie ma jeszcze teoretycznego wyjaśnienia, jest empirycznie bardzo ścisła. Oznacza to, że ten typ supernowych idealnie nadaje się do roli „świec standardowych". Można zatem wykorzystać supernowe do kalibracji odległości, ponieważ ich jasność absolutna może być bezpośrednio wyznaczona pomiarem, który jest niezależny od odległości gwiazdy. Jeśli dostrzeżemy supernową w odległej galaktyce – jest to możliwe, bo są niezwykle jasne – a potem będziemy obserwować jej okres lśnienia, to wyznaczymy jej jasność absolutną. Mierząc następnie jej

jasność obserwowaną, dowiemy się, w jakiej odległości znajduje się ona sama i jej macierzysta galaktyka. A potem wyznaczając przesunięcie ku czerwieni światła gwiazd z tej galaktyki, możemy określić prędkość samej galaktyki, porównując zaś odległość z prędkością – obliczyć tempo ekspansji Wszechświata.

Wszystko dobrze, ale jeśli supernowe eksplodują w galaktyce raz na jakieś sto lat, to jakie jest prawdopodobieństwo ich zobaczenia? Przecież ostatnią supernową w naszej Galaktyce obserwował Johannes Kepler w 1604 roku! Istotnie supernowe w naszej Galaktyce są obserwowane tylko za życia wielkich astronomów, a Kepler z pewnością do nich się zalicza.

Kepler rozpoczął od posady skromnego nauczyciela matematyki w Austrii, by potem stać się asystentem astronoma Tychona Brahego (który sam wcześniej zaobserwował supernową w naszej Galaktyce i za to odkrycie otrzymał wyspę w darze od króla Danii) i posługując się wyznaczonymi przez niego w ciągu dziesięciu lat położeniami planet na niebie, stworzyć swe trzy prawa ruchu planetarnego:

1. Planety poruszają się wokół Słońca po orbitach eliptycznych.
2. *Linia* łącząca planetę ze Słońcem zakreśla równe *powierzchnie* w równych odstępach czasu.
3. *Kwadrat czasu obiegu* planety *po orbicie* jest wprost proporcjonalny do *sześcianu* (trzecia potęga) *półosi wielkiej* orbity (albo, innymi słowy, półosi wielkiej elipsy, połowy odległości między najbardziej oddalonymi punktami elipsy).

Na prawach tych oparł się Newton, gdy prawie wiek później tworzył swe uniwersalne prawo grawitacji. Poza tym niezwykłym osiągnięciem Kepler z powodzeniem obronił swą matkę w procesie o czary i napisał opowieść o podróży na Księżyc, która być może jest pierwszą przedstawicielką gatunku fantastyki naukowej.

Dzisiaj jedną z metod wypatrzenia supernowej mogłoby być przypisanie jednego doktoranta do każdej z galaktyk na niebie. Przecież sto lat aż tak nie odbiega od średniego czasu pisania doktoratu, przynajmniej w kosmicznej skali, a doktoranci są tani

i występują w dużej obfitości. Na całe szczęście nie musimy posuwać się do tak drastycznych środków, a to dlatego, że Wszechświat jest ogromny i bardzo stary, co przekłada się na to, że rzadkie zdarzenia występują przez cały czas.

Wyjdźmy kiedyś nocą do lasu albo na pustynię, gdzie można obserwować gwiazdy, i wznieśmy ku niebu rękę w kierunku, skąd nie widać żadnych. W małym kole o powierzchni dziesięciocentówki mieszczącym się między kciukiem i palcem wskazującym za pomocą dzisiejszych teleskopów moglibyśmy odróżnić sto tysięcy galaktyk, z których każda ma około miliarda gwiazd. Supernowe eksplodują raz na sto lat na galaktykę, a więc mając w polu widzenia sto tysięcy galaktyk, możemy oczekiwać średnio trzech takich eksplozji w ciągu jednej nocy.

Astronomowie właśnie to robią. Składają podanie o przydział czasu na obserwacje teleskopowe i pewnej nocy obserwują jedną eksplozję, w ciągu innej nawet dwie, a kiedy indziej niebo jest tak zasnute chmurami, że nic nie widać. W ten sposób wiele grup obliczyło stałą Hubble'a z dokładnością mniejszą niż 10 procent. Nowa liczba to około 70 kilometrów na sekundę dla galaktyk oddalonych średnio o trzy miliony lat świetlnych. Ta liczba jest dziesięć razy mniejsza niż otrzymana przez Hubble'a i Humasona. W rezultacie szacowany obecnie wiek Wszechświata wynosi 13 miliardów lat, a nie 1,5 miliarda.

Ten wynik, co opiszę później, też jest w zupełnej zgodzie z niezależnymi szacunkami wieku najstarszych gwiazd w naszej Galaktyce. Od Brahego do Keplera, od Lemaître'a do Einsteina i Hubble'a i od widm gwiazd do obfitości lekkich pierwiastków cztery wieki współczesnej nauki stworzyły niezwykły i spójny obraz rozszerzającego się Wszechświata. Wszystko się zgadza. Obraz Wielkiego Wybuchu cały czas ma się dobrze.

# Rozdział 2

# Opowieść o kosmicznej tajemnicy. Ważenie Wszechświata

*Wiemy, o czym wiemy. To rzeczy, o których wiemy, że wiemy. Wiemy, o czym nie wiemy. To znaczy są rzeczy, o których wiemy, że o nich nie wiemy. Ale również nie wiemy, o czym nie wiemy. To rzeczy, o których nie wiemy, że nie wiemy.*

Donald Rumsfeld

Po ustaleniu, że Wszechświat miał początek i że ten początek nastąpił w skończonym i mierzalnym czasie w przeszłości, naturalnym pytaniem jest to: „jaki będzie jego koniec?”.

W rzeczywistości właśnie to pytanie spowodowało, że przerzuciłem się z fizyki cząstek elementarnych na kosmologię. Dzięki dokonanym w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku dokładnym pomiarom ruchu gwiazd i gazu w naszej Galaktyce oraz ruchu galaktyk wewnątrz większych struktur nazywanych gromadami galaktyk stawało się coraz bardziej oczywiste, że we Wszechświecie jest coś więcej, niż można dojrzeć okiem czy nawet teleskopem.

Grawitacja jest główną siłą działającą na ogromną galaktyczną skalę, zatem pomiar ruchu obiektów w tej skali pozwala na badanie grawitacyjnego przyciągania kierującego owym ruchem. Takie pomiary rozpoczęły się od pionierskich badań amerykańskiej astronom Very Rubin i jej kolegów na początku lat siedemdziesiątych. Rubin uzyskała stopień doktora na Uniwersytecie

Georgetown, gdzie uczęszczała wieczorową porą na wykłady, a jej mąż czekał w samochodzie, ponieważ nie umiała prowadzić. Wcześniej składała podanie o przyjęcie do Princeton, ale ten uniwersytet nie przyjmował kobiet na studia magisterskie w dziedzinie astronomii aż do 1975 roku. Rubin została drugą kobietą, która otrzymała Złoty Medal Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego. Ta nagroda i wiele innych, na które zasłużyła, została przyznana jej za przełomowe pomiary ruchu wirowego naszej Galaktyki. Obserwując znajdujące się z dala od centrum Galaktyki gwiazdy i gorący gaz, Rubin odkryła, że regiony, w których występują, poruszają się znacznie szybciej, niż powinny, jeśli siła grawitacyjna odpowiedzialna za ich ruch pochodziłaby z masy wszystkich obserwowanych obiektów w Galaktyce. Dzięki jej pracy kosmolodzy wreszcie zrozumieli, że jedynym wyjaśnieniem tego ruchu musi być istnienie znacznie większej masy w naszej Galaktyce, niż można było się spodziewać po zsumowaniu mas *wszystkich* gwiazd i *całego* gorącego gazu.

Był jednak problem z takim założeniem. Te same obliczenia, które tak pięknie wyjaśniały obserwowaną obfitość lekkich pierwiastków (wodoru, helu i litu), dają także wskazówkę co do ilości protonów i neutronów, składników normalnej materii, jaka musi istnieć we Wszechświecie. Jak w każdej recepturze wypieku – w tym wypadku wypieku jądrowego – masa produktu finalnego musi odpowiadać zsumowanej masie jego składników. Jeśli w recepturze podwoimy masę – dając na przykład cztery jajka zamiast dwóch – to otrzymamy więcej produktu końcowego, w tym wypadku omletu. A tu pierwotna gęstość protonów i neutronów powstających z Wielkiego Wybuchu, jaką otrzymano dzięki dopasowaniu obserwowanej obfitości wodoru, helu i litu, odpowiada mniej więcej podwojonej masie materii widocznej w gwiazdach i gorącym gazie. Gdzie więc są tamte cząstki?

Łatwo można sobie wyobrazić sposoby ukrycia protonów i neutronów (śnieżki, planety, kosmolodzy… żadne z nich nie świeci), dlatego wielu kosmologów przewiduje, że ciemne obiekty zbudowane są z takiej samej ilości protonów i neutronów co obiekty świecące. Jednak po dodaniu „ciemnej materii”, jaka musiałaby

istnieć, aby wyjaśnić ruch materii w naszej Galaktyce, okazuje się, że stosunek materii widocznej do materii niewidocznej musiałby wynosić nie 2 do 1, ale raczej 10 do 1. Jeśli to nie jest błędne oszacowanie, to ciemna materia nie może być zbudowana z protonów i neutronów. Nie ma ich bowiem w wystarczającej ilości.

We wczesnych latach osiemdziesiątych byłem młodym fizykiem zajmującym się fizyką cząstek elementarnych i fascynowała mnie możliwość istnienia tej egzotycznej ciemnej materii. Oznaczało to dosłownie, że dominującymi cząstkami we Wszechświecie nie są wcale staroświeckie, pospolite neutrony i protony, ale jakieś nowe cząstki elementarne, nieodkryte dotąd na Ziemi, tajemniczo płynące wśród gwiazd i niezauważenie wiodące prym wśród tego grawitacyjnego przedstawienia, które nazywamy galaktyką.

Nawet jeszcze bardziej fascynujące, przynajmniej dla mnie, jest to, że hipoteza ta implikuje trzy nowe kierunki badań, które mogą gruntownie wywrócić do góry nogami naszą wiedzę o rzeczywistości.

1. Jeśli te cząstki zostały stworzone podczas Wielkiego Wybuchu, to podobnie jak pisałem o pierwiastkach lekkich, będziemy mogli skorzystać z wiedzy o siłach, które odpowiadają za oddziaływania pomiędzy cząstkami elementarnymi (zamiast oddziaływań pomiędzy jądrami prowadzących do obfitości normalnych pierwiastków), aby oszacować obfitość tych egzotycznych cząstek we współczesnym Wszechświecie.
2. Dzięki teoretycznym pomysłom zaczerpniętym z fizyki cząstek elementarnych możliwe byłoby oszacowanie całkowitej obfitości ciemnej materii we Wszechświecie albo zaproponowanie nowych eksperymentów pozwalających na jej odkrycie – w obu wypadkach dowiedzielibyśmy się, jak wiele jest całkowitej materii, a stąd moglibyśmy wnioskować o geometrii naszego Wszechświata. Nie jest rolą fizyki wymyślanie rzeczy, których nie możemy zobaczyć, aby wyjaśnić rzeczy, które zobaczyć możemy, tylko wymyślanie, jak zobaczyć to, czego zobaczyć nie możemy – zobaczyć to, co

przedtem było niewidoczne, to, o czym wiemy, że nie wiemy. Każda nowa kandydatka na cząstkę ciemnej materii to szansa na nowe możliwości bezpośredniego eksperymentalnego potwierdzenia obecności wewnątrz Galaktyki cząstek elementarnych ciemnej materii dzięki budowie urządzeń na Ziemi wskazujących ich obecność, gdy przylatują do nas z kosmosu. Zamiast za pomocą teleskopów poszukiwać ich w obiektach bardzo odległych, ziemskie detektory mogłyby odkryć ich obecność, jeśli bowiem w ogromnych ilościach cząstki ciemnej materii przenikają całą galaktykę, to muszą również być u nas.

3. Jeśli uda się odkryć naturę ciemnej materii i oszacować jej obfitość, to będziemy mogli odpowiedzieć na pytanie, jaki koniec czeka Wszechświat.

Ta ostatnia możliwość wydaje się najbardziej fascynująca ze wszystkich, dlatego od niej zacznę. Zająłem się kosmologią, ponieważ chciałem być tym pierwszym, który dowie się, jaki koniec jest światu pisany.

Swego czasu wydawało się to ciekawym pomysłem.

Gdy Einstein stworzył swą teorię grawitacji, jej istotą była możliwość zakrzywienia przestrzeni pod wpływem masy i energii w niej zawartej. Ten teoretyczny pomysł stał się czymś więcej niż czystą spekulacją w 1919 roku, gdy podczas zaćmienia Słońca dwie ekspedycje naukowe zaobserwowały w jego pobliżu zakrzywienie promieni świetlnych o taką liczbę stopni, jaką obliczył Einstein. Prawie natychmiast jego nazwisko stało się znane, a on sam sławny. (Większość ludzi dotychczas sądzi, że to ze względu na słynne równanie $E = mc^2$, które pojawiło się piętnaście lat wcześniej, ale to nie ono było powodem sławy).

Jeśli przestrzeń może być zakrzywiona, to geometria Wszechświata jako całości staje się nagle znacznie bardziej interesująca. W zależności od całkowitej ilości materii możliwa jest jedna z trzech geometrii Wszechświata: *otwarta, zamknięta* albo *płaska*.

Trudno sobie wyobrazić, jak mogłaby faktycznie wyglądać zakrzywiona trójwymiarowa przestrzeń. Ponieważ jesteśmy istotami trójwymiarowymi, równie trudno intuicyjnie nam zobrazować zakrzywioną przestrzeń trójwymiarową jak istotom dwuwymiarowym ze znanej książki *Flatlandia* wyobrazić sobie, jak wyglądałby ich świat w oczach trójwymiarowego obserwatora, gdyby był on przestrzenią zakrzywioną jak powierzchnia kuli. A jeszcze gdy krzywizna jest mała, trudno ją wykryć w życiu codziennym, podobnie jak w czasach średniowiecza, kiedy ludzie przekonani byli, że Ziemia musi być płaska, bo z ich perspektywy taka się wydawała.

Trudno dokonać wizualizacji zakrzywionego trójwymiarowego wszechświata. Zamknięty wszechświat jest jak trójwymiarowa powierzchnia kuli, co brzmi dość przerażająco, ale pewne tego aspekty łatwo można opisać. Jeśli w zamkniętym wszechświecie popatrzysz dostatecznie daleko, to zobaczysz własną potylicę.

Płaski trójwymiarowy wszechświat nie jest płaski jak stół, ale faktycznie to poczciwy staromodny wszechświat, ten, w którym od zawsze wydaje ci się, że żyjesz, taki, w którym światło rozchodzi się po liniach prostych, a trzy prostopadłe do siebie osie *x*, *y*, *z* skierowane są zawsze w trzech tych samych kierunkach (jeśli mają swój początek w jakimś dowolnym punkcie przestrzeni). W przestrzeni zakrzywionej światło porusza się po trajektoriach zakrzywionych, a trzy wzajemnie prostopadłe osie wychodzące z jednego punktu będą wskazywać coraz to inne kierunki, gdy punkt ten będzie poruszał się w przestrzeni.

Chociaż takie egzotyczne geometrie mogą wydawać się zabawne lub robić pewne wrażenie, to w praktyce prowadzą do bardzo ważnych konsekwencji. Ogólna teoria względności jednoznacznie wskazuje, że zamknięty wszechświat, którego gęstość energii zdominowana jest przez materię, taką jak w gwiazdach i galaktykach, a nawet jeszcze bardziej egzotyczną ciemną materię, *musi* w jakimś momencie przejść rodzaj odwróconego Wielkiego Wybuchu – czyli doznać Wielkiego *Krachu*, jeśli można tak nazwać to zjawisko. Otwarty wszechświat będzie rozszerzał się wiecznie ze skończoną prędkością, natomiast płaski stanowi sytuację

graniczną, będzie zwalniał tempo swego rozszerzania, ale nigdy całkiem go nie zatrzyma.

Dlatego zdobycie wiedzy o ilości ciemnej materii, a tym samym o lokalnej gęstości masy Wszechświata, daje nadzieję na uzyskanie odpowiedzi na pytanie stare jak świat (w każdym razie przynajmniej tak stare jak T.S. Eliot), czy zniknie on po cichu, czy z wielkim hukiem. Historia wyznaczania masy ciemnej materii zaczyna się co najmniej pół wieku wcześniej i można wiele o tym napisać (i faktycznie to zrobiłem w mojej książce pt. *Quintessence*). Jednak w tym wypadku, jak mam zamiar pokazać (zarówno słowami, jak i rysunkami), prawdą jest to, że jeden rysunek jest wart przynajmniej tysiąca słów (a może nawet i stu tysięcy).

Największe występujące we Wszechświecie obiekty związane grawitacyjnie to *gromady* galaktyk. Takie obiekty mogą składać się z tysięcy, albo i więcej, pojedynczych galaktyk i rozciągać się na dziesiątki milionów lat świetlnych. Większość galaktyk należy do takich gromad, na przykład nasza należy do gromady w Pannie, której centrum znajduje się w odległości 60 milionów lat świetlnych od Słońca.

Jako że gromady są tak ogromne i masywne, w zasadzie wszystko, co do czegoś należy, należy na pewno do gromady galaktyk. Jeśli zatem uda się poznać wagę gromad galaktyk, a potem oszacować gęstość masy takiej gromady, to będziemy mogli w zasadzie „zważyć cały Wszechświat", łącznie z ciemną materią. Potem posługując się równaniami ogólnej teorii względności, postaramy się określić, czy jest wystarczająco dużo materii, aby Wszechświat stał się zamknięty czy też nie.

Na razie wszystko jest w porządku, ale jak zważyć obiekty, które są rozciągnięte na dziesiątki milionów lat świetlnych? To proste. Posłużymy się grawitacją.

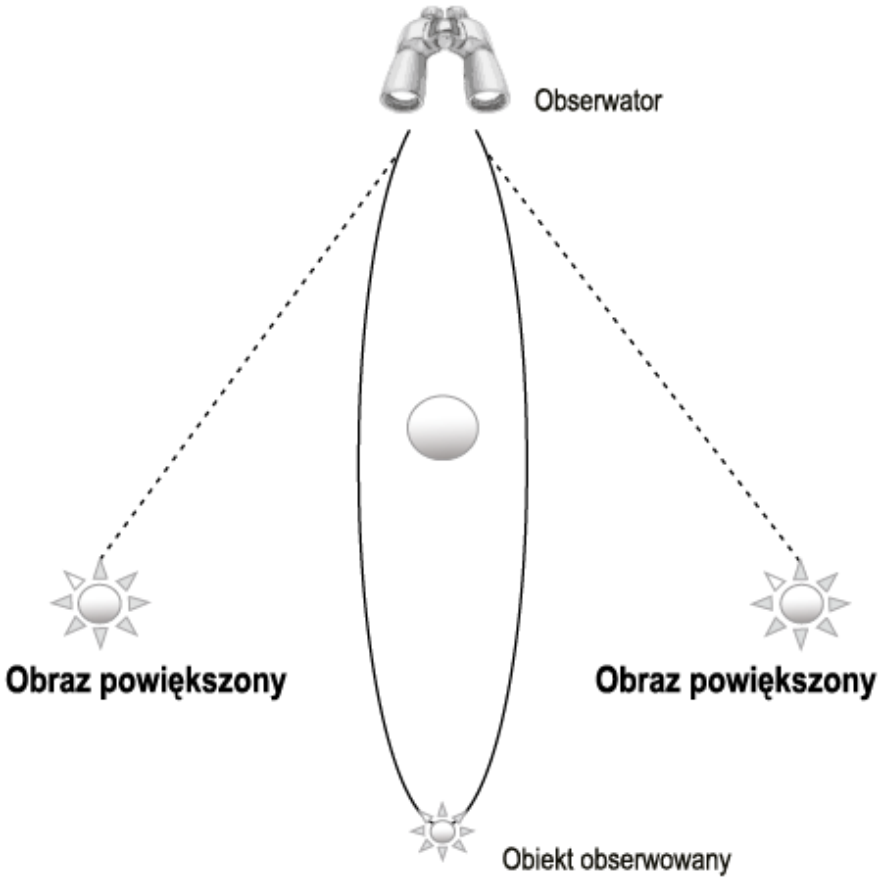
W 1936 roku Albert Einstein za namową astronoma amatora, Rudiego Mandla, opublikował w „Science" krótki artykuł zatytułowany *Działanie gwiazdy jako soczewki optycznej dzięki odchyleniu światła w jej polu grawitacyjnym*. W tej krótkiej notatce Einstein zademonstrował zadziwiający efekt, jaki pojawia się, gdy

sama przestrzeń zakrzywia promień światła i powiększa obraz niczym soczewka w okularach.

Były to czasy większej uprzejmości i grzeczności, dlatego warto pokazać, w jak nieoficjalnym stylu rozpoczął Einstein swoją notatkę, choć publikował ją w renomowanym czasopiśmie naukowym: „Jakiś czas temu odwiedził mnie R.W. Mandl i poprosił o opublikowanie rezultatu moich niewielkich obliczeń, które wykonałem na jego prośbę. Tą notatką spełniam jego życzenie". Być może tak nieformalny styl wynika z charakteru Einsteina, ale ja wolę myśleć, że taki był duch tej epoki, kiedy wyników naukowych nie formułowano jeszcze w tak hermetycznym języku jak dziś.

W każdym razie, jak już o tym pisałem, to, że światło będzie poruszać się po zakrzywionych trajektoriach, gdy sama przestrzeń się zakrzywi pod wpływem obecności masy, było pierwszym przewidywaniem ogólnej teorii względności, które przyniosło Einsteinowi międzynarodową sławę. A więc nie jest aż tak zaskakujące, że jeszcze w 1912 roku, zanim skończył pracę nad ogólną teorią względności, wykonał on obliczenia, które faktycznie mogły być takie same jak opublikowane w 1936 roku na prośbę pana Mandla, gdyż poszukiwał jakiegoś zjawiska mogącego przekonać astronomów, aby obserwacyjnie sprawdzili jego pomysł. Być może nie zawracał sobie głowy publikowaniem wcześniejszych obliczeń, bo w 1912 roku doszedł do tego samego wniosku co w 1936 roku, gdy napisał: „są małe szanse na zaobserwowanie tego zjawiska". Po sprawdzeniu jego notatek z obu okresów nie możemy być zupełnie pewni, czy pamiętał o tym, że wykonał te obliczenia dwadzieścia cztery lata wcześniej.

Otóż Einstein dostrzegł, że zakrzywienie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym może oznaczać, iż jeśli jasny obiekt położony jest daleko za stanowiącym przeszkodę rozkładem mas, to promienie świetlne mogą zakrzywić się wokół tej przeszkody i skupić ponownie, tak jak dzieje się to podczas przechodzenia przez szklane soczewki, co doprowadza albo do optycznego powiększenia obserwowanego obiektu, albo do powstania wielokrotnych jego obrazów, z których część może być zniekształcona (zobacz rysunek poniżej).




Gdy Einstein obliczył przewidywany efekt soczewkowania odległej gwiazdy przez znajdującą się na pierwszym planie inną gwiazdę stanowiącą przeszkodę, efekt okazał się tak mały, że zdawał się zupełnie niemierzalny, co skłoniło go do uczynienia uwagi o małej szansie jego obserwacji. Uczony sądził, że jego praca ma małą wartość praktyczną. Jak stwierdza w swym liście przewodnim do wydawcy „Science": „Niech mi w końcu będzie wolno podziękować Panu za wsparcie mojej małej publikacji, którą Pan Mandl ze mnie wydusił. Ma ona niewielką wartość, ale uszczęśliwi biedaczysko".

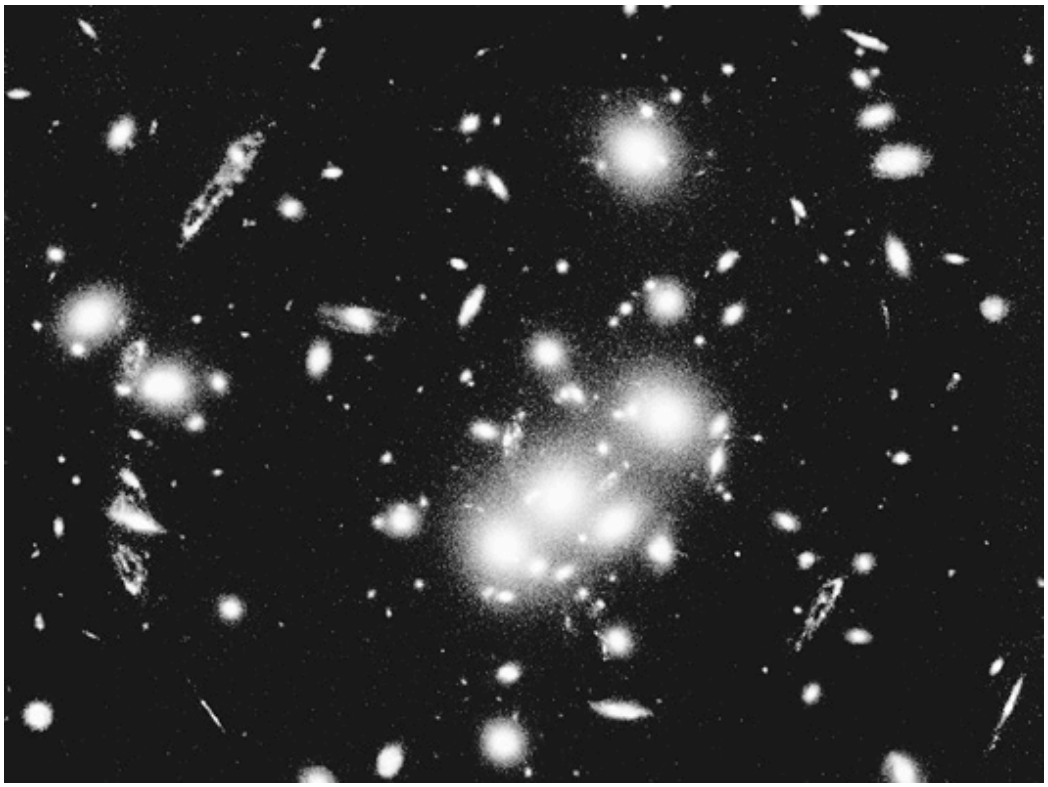
Einstein jednak nie był astronomem i musiał znaleźć się ktoś, kto zda sobie sprawę, że ów efekt nie tylko można zaobserwować, ale także wykorzystać. Jego użyteczność wynika z soczewkowania odległych obiektów przez znacznie większe układy, takie jak galaktyki albo nawet gromady galaktyk, a nie soczewkowania gwiazd przez gwiazdy. W ciągu kilku miesięcy po publikacji Einsteina bardzo zdolny astronom z Caltech, Fritz Zwicky, przesłał do „Physical

Review” pracę, w której przedstawił wykonalność tej metody (a przy tym upokorzył Einsteina, wykazując jego ignorancję w sprawie soczewkowania raczej przez galaktyki niż przez gwiazdy).

Zwicky wyprzedzał swoją epokę, lecz miał wybuchowy charakter. Już w 1933 roku dokonał analizy ruchu względnego galaktyk w gromadzie w Warkoczu i ustalił, na podstawie praw ruchu Newtona, że galaktyki poruszają się tak szybko, że powinny się rozlecieć na wszystkie strony, opuszczając gromadę, o ile wewnątrz gromady nie istnieje stokrotnie większa masa, niż wynika z obserwacji samych gwiazd. Dlatego właśnie jego powinno się uznać za odkrywcę ciemnej materii, choć ten wniosek był tak niezwykły, że początkowo prawie wszyscy astronomowie zakładali możliwość mniej egzotycznego wyjaśnienia efektu, który odkrył Zwicky.

Jednostronicowa praca z 1937 roku była równie niezwykła. Zaproponował w niej trzy różne kierunki badań z wykorzystaniem soczewkowania grawitacyjnego: (1) testowanie ogólnej teorii względności, (2) użycie przesłaniających galaktyk w charakterze teleskopu do powiększania obrazu bardziej odległych obiektów, które nie mogą być obserwowane z Ziemi innym sposobem i, najważniejsze, (3) rozwiązanie tajemniczego zagadnienia, dlaczego wydaje się, iż gromady zawierają więcej masy, niż da się określić za pomocą obserwacji widocznej materii: „Obserwacje ugięcia światła wokół mgławic mogą umożliwić najbardziej bezpośrednie wyznaczenie mas gromad i wyjaśnić wzmiankowaną powyżej rozbieżność”.

Artykuł Zwicky’ego ma już 76 lat, ale czyta się go jak współczesną propozycję badań Wszechświata za pomocą metody soczewkowania. Rzeczywiście sprawdziła się każda z wymienionych przez niego sugestii, a ostatnia jest najważniejsza. Soczewkowanie grawitacyjne odległych kwazarów przez przesłaniające je galaktyki zaobserwowano po raz pierwszy w 1987 roku, a w 1998 roku, 61 lat po propozycji Zwicky’ego, zważono za pomocą soczewkowania grawitacyjnego dużą gromadę.



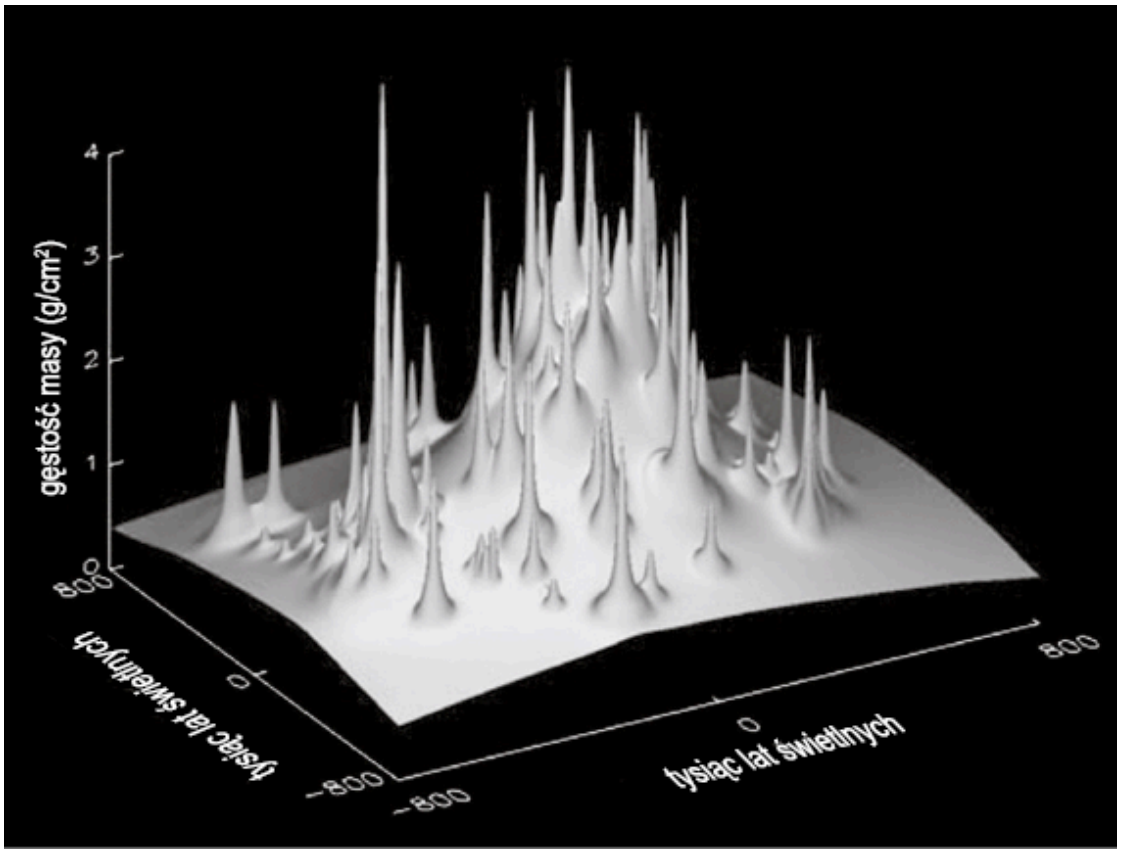
W tym samym roku fizyk Tony Tyson i jego współpracownicy z nieistniejących już Laboratoriów Bella (cieszących się zasłużoną sławą miejsca uprawiania wielkiej nauki potwierdzoną Nagrodami Nobla; tu wynaleziono tranzystor i odkryto mikrofalowe promieniowanie tła) zaobserwowali odległą dużą gromadę, oznaczoną zmyślnym symbolem CL 0024 + 1654, znajdującą się w odległości pięciu miliardów lat świetlnych. To piękne zdjęcie z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a jest spektakularnym przykładem dalekiej galaktyki schowanej w odległości pięciu miliardów lat świetlnych za gromadą, widocznej tu w postaci nakładających się obrazów, które są silnie zniekształconymi i wydłużonymi plamami wśród okrągłych błysków przedstawiających inne galaktyki.

Widok ten skłania, by popuścić wodze wyobraźni. Po pierwsze, każda plama na tym zdjęciu to galaktyka, a nie gwiazda. Każda z galaktyk zawiera być może około stu miliardów gwiazd, a wśród nich prawdopodobnie setki miliardów planet z zagubionymi gdzieś w przestrzeni cywilizacjami. Mówię: zagubionymi, ponieważ zdjęcie przedstawia sytuację sprzed pięciu miliardów lat. Światło bowiem

wyruszyło z nich pięćset milionów lat, zanim powstały nasze Słońce i Ziemia. Wyczerpawszy swe paliwo miliardy lat temu, liczne gwiazdy, w uchwyconych na tym zdjęciu galaktykach, przestały istnieć. A ponadto zniekształcone obrazy wykazują idealnie to, co Zwicky przewidział. Duże zniekształcone formy na lewo od środka fotografii to bardzo powiększone (i wydłużone) wersje tej odległej galaktyki, której inaczej prawdopodobnie w ogóle nie udałoby się zaobserwować.

Określenie rozkładu mas na podstawie tego zdjęcia jest bardzo skomplikowaną i złożoną procedurą. Aby tego dokonać, Tyson stworzył cyfrowy model gromady i wyznaczał na podstawie ogólnej teorii względności wszystkie możliwe trajektorie promieni świetlnych biegnących od źródła poprzez gromadę, aż uzyskał rezultat, który najlepiej zgadzał się z obserwacją. Gdy opadł kurz, Tyson i współpracownicy otrzymali graficzny rozkład masy układu przedstawionego na fotografii obok.

Coś dziwnego zachodzi na tym rysunku. Piki to położenia widocznych na fotografii galaktyk, ale większość masy zawarta jest *pomiędzy* galaktykami w gładkim ciemnym rozkładzie. Rzeczywiście pomiędzy galaktykami znajduje się 40 razy więcej masy niż tej widocznej w gromadzie (300 razy więcej niż masy zawartej tylko w samych gwiazdach i w otaczającym je gorącym gazie). Widać, że ciemna materia jest nie tylko związana z galaktykami, ale także dominuje gęstość masy w gromadach galaktyk.




Fizycy cząstek elementarnych tacy jak ja nie byli zaskoczeni faktem, że ciemna materia także przeważa w gromadach galaktyk. Mimo że nie było ani krztyny bezpośredniego dowodu, wszyscy mieliśmy nadzieję, że ilość ciemnej materii będzie wystarczająca, aby Wszechświat miał geometrię płaską. Oznaczałoby to, że we Wszechświecie musi być co najmniej sto razy więcej materii ciemnej niż materii widocznej.

Powód jest prosty: płaski wszechświat jest jedynym pięknym matematycznie wszechświatem. Dlaczego? Czytajcie dalszy tekst uważnie.

O tym, czy wszechświat jest płaski, zadecyduje ilość ciemnej materii. Tymczasem obserwacje jak te przeprowadzone przy użyciu soczewkowania grawitacyjnego (przypominam, że soczewkowanie grawitacyjne wynika z lokalnego zakrzywienia przestrzeni wokół obiektów masywnych; płaskość wszechświata odnosi się do globalnej średniej krzywizny przestrzeni, która nie dotyczy lokalnych krzywizn wokół obiektów masywnych) i nowsze odkrycia z innych dziedzin

astronomii potwierdziły, że całkowita ilość ciemnej materii w galaktykach i gromadach galaktyk znacznie przewyższa wyliczoną ilość materii powstałą na skutek nukleosyntezy Wielkiego Wybuchu. W zasadzie jesteśmy przekonani, że ciemna materia – której istnienie zostało potwierdzone w wielu niezależnych badaniach astrofizycznych, od galaktyk do gromad galaktyk – musi składać się z czegoś zupełnie nowego, czegoś, co normalnie nie istnieje na Ziemi. Ten rodzaj materii, która nie jest materią gwiezdną, nie jest także materią ziemską. Ale jakąś *jest*!

Te wczesne wnioski dotyczące istnienia ciemnej materii w naszej Galaktyce spowodowały powstanie nowej gałęzi fizyki doświadczalnej, i cieszę się bardzo, że odegrałem pewną rolę w jej rozwoju. Jak już wspominałem, ciemna materia istnieje wokół nas – w pokoju, w którym piszę te słowa, jak również „gdzieś tam" w przestrzeni. Dlatego możemy przeprowadzić eksperymenty poszukujące ciemnej materii i nowych typów cząstek elementarnych, z których się ona składa.

Eksperymenty przeprowadza się w kopalniach i tunelach położonych głęboko pod ziemią. Dlaczego pod ziemią? Dlatego że na powierzchni Ziemi jesteśmy regularnie bombardowani przez pochodzące ze Słońca i z jeszcze bardziej odległych obiektów promieniowanie kosmiczne. A ponieważ ciemna materia ze swej natury nie oddziałuje elektromagnetycznie i nie wytwarza światła, zakładamy zatem, że jej oddziaływanie ze zwykłą materią jest bardzo słabe i z tego względu bardzo trudno będzie ją wykryć. Nawet jeśli codziennie jesteśmy bombardowani przez miliony cząstek ciemnej materii, to większość przenika przez nas i przez Ziemię, nawet „nie wiedząc", że tu jesteśmy – i przez nas także niezauważona. Dlatego jeśli chcemy wykryć efekty związane z odstępstwem od tej reguły, czyli cząstki ciemnej materii zderzające się z atomami materii zwykłej, należy liczyć się z wykrywaniem bardzo rzadko pojawiających się efektów. Tylko pod ziemią jesteśmy dostatecznie odizolowani od promieniowania kosmicznego, aby mogło do tego dojść.

Podczas pisania tej książki pojawiła się równie fascynująca możliwość badań. Wielki Zderzacz Hadronów (LHC) zainstalowany

koło Genewy, największy na świecie akcelerator cząstek, rozpoczął dopiero co swoją działalność. Mamy wiele powodów, aby przypuszczać, że gdy protony zderzają się ze sobą w tym urządzeniu z bardzo dużymi energiami, powstają warunki podobne do tych, jakie istniały w bardzo wczesnym Wszechświecie, choć tylko w mikroskopowym obszarze przestrzeni. W takim regionie możemy odtworzyć w laboratorium te same oddziaływania, które prawdopodobnie stworzyły we wczesnym Wszechświecie to, co nazywamy cząstkami ciemnej materii! Dlatego też rozpoczął się wielki wyścig naukowy. Kto pierwszy odkryje cząstki ciemnej materii, eksperymentatorzy ulokowani głęboko pod ziemią czy ci obsługujący LHC? Dobre wieści są takie, że którakolwiek z grup wygra, to nie będzie przegranych. Wygramy wszyscy, dowiemy się bowiem, jakie są najbardziej podstawowe składniki materii.

Choć opisane powyżej badania astrofizyczne nie identyfikują ciemnej materii, to dają nam jednak wskazówkę, ile jej jest. Ostateczne, bezpośrednie wyznaczenie całkowitej ilości ciemnej materii we Wszechświecie udało się dzięki połączonym pomiarom soczewkowania grawitacyjnego z obserwacjami promieniowania rentgenowskiego emitowanego przez gromady galaktyk. Oszacowanie całkowitej masy gromad stało się możliwe dzięki temu, że temperatura gazu wysyłającego to promieniowanie jest zależna od całkowitej masy układu, w którym jest wytwarzane. Rezultaty okazały się zaskakujące i rozczarowujące dla wielu z nas. Bo gdy opadł kurz, dosłownie i metaforycznie, całkowita masa zawarta w galaktykach, wokół nich i w gromadach galaktyk stanowi tylko 30 procent masy potrzebnej do istnienia obecnie płaskiego Wszechświata. (Zauważmy, że jest to 40 razy więcej masy niż masy widocznej, dlatego stanowi mniej niż jeden procent masy potrzebnej do utworzenia płaskiego wszechświata).

Einstein byłby zapewne zdumiony, że jego „mała publikacja" ostatecznie okazała się tak użyteczna. Uzupełniony przez zdumiewające nowe urządzenia eksperymentalne i obserwacyjne, które otwarły nowe okno w kosmos, nowe osiągnięcia teoretyczne, które zdumiałyby go i zachwyciły, oraz przez odkrycie ciemnej materii, które prawdopodobnie spowodowałoby u niego wzrost

ciśnienia krwi, mały kroczek wielkiego uczonego ku zakrzywionej przestrzeni ostatecznie okazał się ogromnym skokiem naprzód. Na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku święty Graal kosmologii został w sposób oczywisty odkryty. Obserwacje ustaliły, że żyjemy we wszechświecie otwartym, takim, który będzie się wiecznie rozszerzał. Czy aby na pewno?

# Rozdział 3

# Światło z początku czasu

*Jak było na początku, teraz i zawsze, i na wieki wieków.*

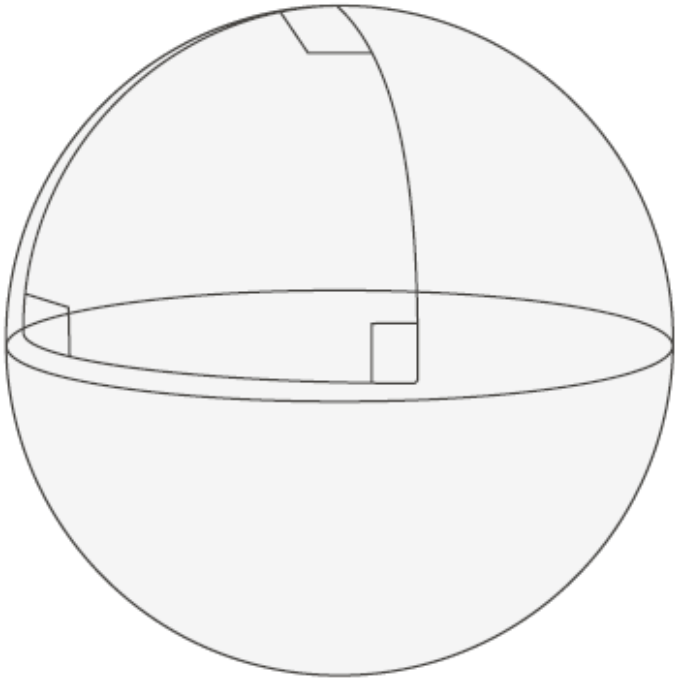
Chwała Ojcu (*Gloria Patri*)

Pomyślmy, jak wiele potencjalnych problemów można napotkać, gdy chce się określić krzywiznę Wszechświata za pomocą pomiaru jego całkowitej masy, a potem dzięki równaniom ogólnej teorii względności wyznaczyć jego ewolucję w czasie biegnącym wstecz. Jak to zwykle bywa, trzeba się zastanowić, czy jesteśmy w stanie wykryć całą materię. Na przykład możemy badać istnienie materii wewnątrz jakichś układów za pomocą dynamiki grawitacyjnej obiektów widocznych, takich jak galaktyki i gromady galaktyk. Jeśli znacząca ilość masy jest jednak gdzie indziej, to nie odkryjemy jej istnienia. Znacznie lepiej byłoby badać bezpośrednio geometrię całego widocznego Wszechświata.

Jednak jak zbadać trójwymiarową geometrię całego widzialnego Wszechświata? Zacznijmy od łatwiejszego pytania: Jak określić zakrzywienie dwuwymiarowego obiektu, na przykład powierzchni Ziemi, jeśli nie możemy osobiście objechać jej wokół ani wysłać satelity, by wokół niej przeleciał?

Na początek powinniśmy zapytać ucznia szkoły średniej, ile wynosi suma kątów wewnętrznych trójkąta (wybierzmy starannie szkołę średnią, jednak… europejska szkoła byłaby dobrym wyborem). W odpowiedzi usłyszelibyśmy prawdopodobnie, że jest to 180 stopni, bo z pewnością uczeń zna geometrię euklidesową, geometrię

płaskiej kartki papieru. Na zakrzywionej powierzchni, takiej jak ziemski glob, można narysować trójkąt, którego suma kątów wewnętrznych będzie większa od 180 stopni. Na przykład narysujmy linię wzdłuż równika, przedłużmy ją pod kątem prostym do bieguna północnego, potem znów pod kątem prostym w kierunku bieguna południowego i dalej pod kątem prostym wzdłuż równika, tak jak pokazano na rysunku poniżej. Trzy razy po 90 daje nam 270, znacznie więcej niż 180 stopni. *Voilà!*



Okazuje się także, że ten prosty, dwuwymiarowy sposób myślenia można bezpośrednio stosować w trzech wymiarach, ponieważ matematycy, którzy pierwsi zaproponowali geometrie nieeuklidesowe, zdawali sobie sprawę, iż te same własności powinna mieć przestrzeń trójwymiarowa. Najsłynniejszy dziewiętnastowieczny matematyk, Carl Friedrich Gauss, był tak zafascynowany możliwością nieeuklidesowej geometrii naszego własnego Wszechświata, że posłużył się danymi geodezyjnymi z lat dwudziestych i trzydziestych XIX wieku w celu zmierzenia dużego trójkąta tworzonego w Niemczech przez szczyty Hoher Hagen, Inselberg i Brocken i sprawdzenia, czy istnieje jakiś ślad zakrzywienia przestrzeni.

Oczywiście musiał również zdawać sobie sprawę z faktu, że szczyty te leżą na zakrzywionej powierzchni Ziemi, co oznacza, iż dwuwymiarowa krzywizna musi w jakiś sposób mieć wpływ na pomiar zakrzywienia trójwymiarowej przestrzeni, w której Ziemia jest zanurzona. Zakładam, że zamierzał odjąć każdy taki wkład dwuwymiarowej krzywizny w swym wyniku końcowym.

Pierwszym badaczem, który ostatecznie spróbował zmierzyć krzywiznę przestrzeni, był mało znany matematyk, Mikołaj Iwanowicz Łobaczewski z Kazania w Rosji. W odróżnieniu od Gaussa Łobaczewski ośmielił się opublikować swe rozważania o geometrii hiperbolicznej, w której dwie proste równoległe mogą się rozchodzić. I co zadziwiające, wydał swą pracę w 1830 roku (dziś mówimy o wszechświecie „ujemnie zakrzywionym" albo „otwartym").

Wkrótce potem Łobaczewski, zastanawiając się, czy nasz trójwymiarowy Wszechświat może być hiperboliczny, zasugerował „obserwację trójkąta tworzonego przez gwiazdy w celu eksperymentalnego rozwiązania tego zagadnienia". Proponował obserwację jasnej gwiazdy, Syriusza, w odstępie sześciomiesięcznym, gdy Ziemia znajdzie się na przeciwnych punktach swej orbity wokół Słońca. Z obserwacji wysnuł wniosek, że wielkość krzywizny Wszechświata musi być równa *co najmniej* 166 000 promieni orbity ziemskiej.

To bardzo duża liczba, ale w skali kosmicznej jest śmiesznie mała. Niestety, choć Łobaczewski miał dobry pomysł, to jednak ograniczała go technologia tamtych czasów. Sto pięćdziesiąt lat później dokonano znacznie lepszych pomiarów dzięki najważniejszym w dziejach kosmologii obserwacjom, analizie kosmicznego promieniowania tła, w skrócie CMBR.

Kosmiczne promieniowanie tła (CMBR) to nic innego jak poświata Wielkiego Wybuchu. Dostarcza ono bezpośredniego dowodu tego, że Wielki Wybuch naprawdę nastąpił. Pozwala ono nam bezpośrednio zbadać charakter bardzo młodego i bardzo gorącego Wszechświata, z którego później powstały wszystkie widoczne dzisiaj struktury.

Najbardziej niezwykłe jest to, że mikrofalowe promieniowanie tła zostało odkryte w New Jersey przez dwóch naukowców, którzy nie mieli najmniejszego pojęcia, czego naprawdę poszukują. Inna

sprawa, że skutki jego obecności istniały przez dziesięciolecia tuż pod naszym nosem możliwe do wykrycia. Zakładam, że czytelnik jest w tym wieku, że zdążył doznać w przeszłości jego efektów, nie zdając sobie z tego sprawy; wystarczy choćby wspomnieć czasy przed erą telewizji kablowej. Gdy przed świtem kończył się program, tuż po wyłączeniu obrazu kontrolnego na ekranie pojawiały się zakłócenia. Około jednego procentu widocznych na ekranie zakłóceń powodowało właśnie promieniowanie powstałe w czasie Wielkiego Wybuchu.

Źródło tego mikrofalowego promieniowania tła można łatwo zrozumieć. Wszechświat trwa skończony czas (przypomnijmy, jest to 13,72 miliarda lat), a gdy spoglądamy na coraz odleglejsze obiekty, to patrzymy w czasie wstecz (ponieważ światło od tych obiektów musi lecieć ku nam coraz dłużej). Wyobraźmy sobie, że gdybyśmy spojrzeli dostatecznie daleko w przeszłość, moglibyśmy ujrzeć Wielki Wybuch. W zasadzie nie jest to niemożliwe, ale praktycznie między nami i tymi odległymi momentami istnieje ściana. Nie ściana w sensie fizycznym, jak ściana pokoju, w którym piszę tę książkę, ale taka, która w dużym stopniu pełni tę samą funkcję.

Nie mogę spoglądać przez ściany mego pokoju, ponieważ nie są przezroczyste. Absorbują światło. A gdy patrzę w niebo coraz dalej i dalej w przeszłość, patrzę na Wszechświat coraz młodszy i młodszy, i coraz bardziej i bardziej gorący, bo przecież ochładzał się od Wielkiego Wybuchu. Jeśli popatrzę dostatecznie daleko wstecz w czasie, do momentu gdy Wszechświat miał 300 000 lat, to jego temperatura wynosiła około 3000 stopni Kelvina. W tej temperaturze promieniowanie otoczenia miało tyle energii, że mogło rozbić dominujące wówczas atomy wodoru na ich podstawowe składniki, protony i elektrony. Czyli do tego momentu nie istniała neutralna elektrycznie materia. Składała się wtedy z jąder atomowych i elektronów, tworząc gęstą „plazmę” elektrycznie naładowanych cząstek oddziałujących z promieniowaniem.

Plazma jednak może być nieprzezroczysta dla promieniowania. Wewnątrz plazmy cząstki naładowane elektrycznie absorbują fotony i na powrót je emitują, co utrudnia promieniowaniu przedostawanie się przez to środowisko. W rezultacie jeśli spoglądam wstecz

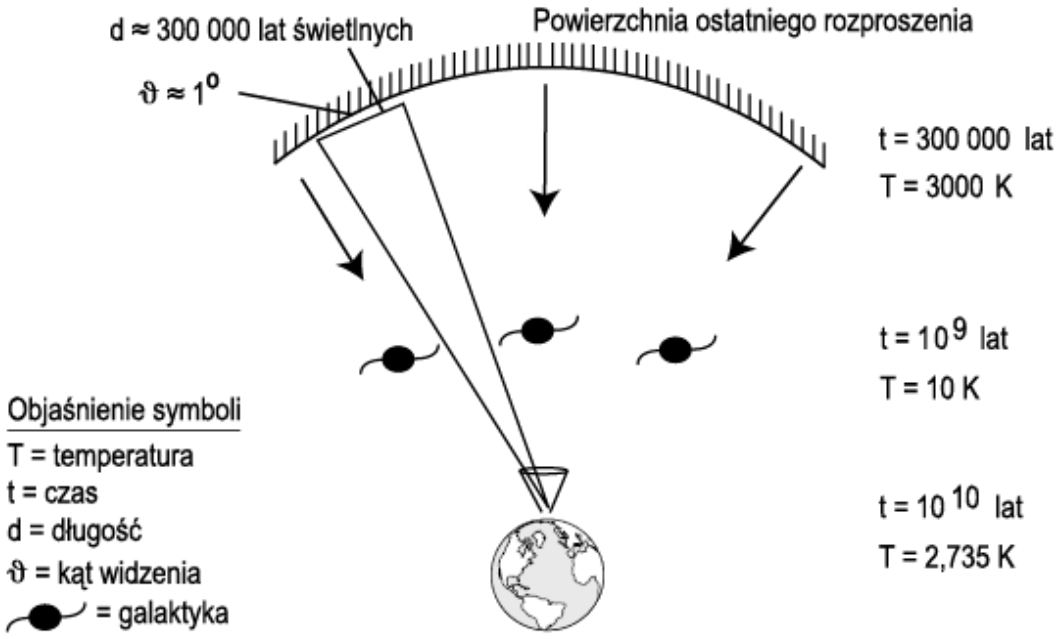
w czasie, nie mogę zobaczyć okresu, gdy materia we Wszechświecie składała się głównie z plazmy.

To właśnie jest ta ściana jak w moim pokoju. Widzę ściany pokoju, ponieważ elektrony w atomach leżących na powierzchni ściany absorbują światło i zaraz potem je emitują, a powietrze między mną i ścianą jest przezroczyste. Dlatego wzrok mój sięga aż do powierzchni ściany, która emituje światło. Tak też jest ze Wszechświatem. Gdy spoglądam w niebo, widzę wstecz aż do „powierzchni ostatniego rozproszenia", czyli do momentu, w którym Wszechświat stał się elektrycznie neutralny, gdy protony związały się z elektronami w atomy. Od tego momentu jest on przezroczysty dla promieniowania i dlatego mogę teraz widzieć promieniowanie, które było absorbowane i z powrotem emitowane przez elektrony, gdy materia stała się neutralna elektrycznie.

Teoria Wielkiego Wybuchu *przewiduje*, że właśnie to promieniowanie z „powierzchni ostatniego rozproszenia" dochodzi do nas ze wszystkich kierunków. A ponieważ Wszechświat od tego czasu rozszerzył się około tysiąckrotnie, to tamto promieniowanie ochłodziło się podczas swej drogi i teraz jego temperatura wynosi około trzech stopni powyżej zera absolutnego. I to właśnie jest ten sygnał, który dwóch nieszczęsnych naukowców wychwyciło w New Jersey w 1965 roku i otrzymało później za jego odkrycie Nagrodę Nobla.

Drugą Nagrodę Nobla, i nareszcie z ważnego powodu, przyznano niedawno za badania mikrofalowego promieniowania tła. Gdybyśmy mogli sfotografować powierzchnię ostatniego rozproszenia, otrzymalibyśmy zdjęcie prawie nowo narodzonego Wszechświata w wieku około 300 000 lat. Zobaczylibyśmy wszystkie struktury, z których kiedyś powstaną galaktyki, gwiazdy, planety, przybysze z kosmosu i cała reszta. A co najważniejsze, te struktury będą jeszcze nienaruszone przez całą późniejszą dynamiczną ewolucję, jaka przesłoni naturę i źródło pierwszych maleńkich pierwotnych zaburzeń rozkładu materii i energii, których przyczyną były prawdopodobnie egzotyczne procesy zachodzące w najwcześniejszych momentach Wielkiego Wybuchu.

Dla nas najważniejsze jest jednak to, że powierzchnia ta powinna mieć charakterystyczną skalę stanowiącą efekt oddziaływania na nią czasu. Można to rozumieć w następujący sposób. Zastanówmy się, jaką odległość na tej powierzchni może zobaczyć obserwator na Ziemi pod kątem jednego stopnia. Okazuje się, że jest to około 300 000 lat świetlnych. A teraz przeprowadźmy następującą analizę. Powierzchnia ostatniego rozproszenia pochodzi z czasu, gdy sam Wszechświat miał około 300 000 lat, a dzięki Einsteinowi wiemy, że żadna informacja nie może przemieszczać się w przestrzeni szybciej niż światło, dlatego wniosek jest taki, że sygnał z dowolnego punktu tej powierzchni nie mógłby się przemieścić wzdłuż niej na odległość większą niż 300 000 lat świetlnych.



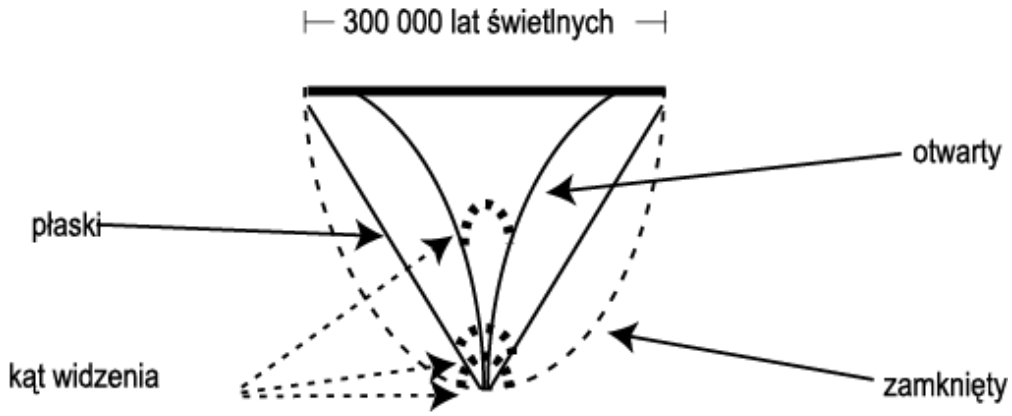

Rozważmy skupisko materii o średnicy mniejszej niż 300 000 lat świetlnych. Takie skupisko zapadało się pod wpływem własnej grawitacji. Natomiast skupisko o średnicy większej niż 300 000 lat świetlnych nawet nie zaczęło się zapadać, ponieważ jeszcze nie zdążyło się „dowiedzieć", że jest skupiskiem. Grawitacja, sama rozchodząca się z prędkością światła, nie objęła jeszcze swym zasięgiem jego całości. Będzie ono w stanie zawieszenia, podobnie

jak zastygły w powietrzu nad urwiskiem Wiluś E. Kojot z kreskówki *Struś Pędziwiatr*, oczekując, aż Wszechświat postarzeje się na tyle, aby w całym skupisku rozprzestrzenił się sygnał grawitacyjny nakazujący mu, co ma zrobić.

Dzięki temu da się wyróżnić pewien szczególny trójkąt z jednym ramieniem o długości 300 000 lat świetlnych i dwoma innymi o znanej odległości do nas, odległości pomiędzy nami a powierzchnią ostatniego rozpraszania, tak jak pokazano na rysunku po lewej.

Największe skupiska materii, które właśnie rozpoczęły proces zapadania się, ukształtowały tę skalę, tworząc nieregularności powierzchni uwalniające mikrofalowe promieniowanie tła. Jeśli chcemy odtworzyć obraz tej powierzchni, to powinniśmy oczekiwać gorących plam na obrazie mikrofalowego promieniowania tła, które po uśrednieniu będą odzwierciedlać największe znaczące skupiska materii w tamtym momencie.

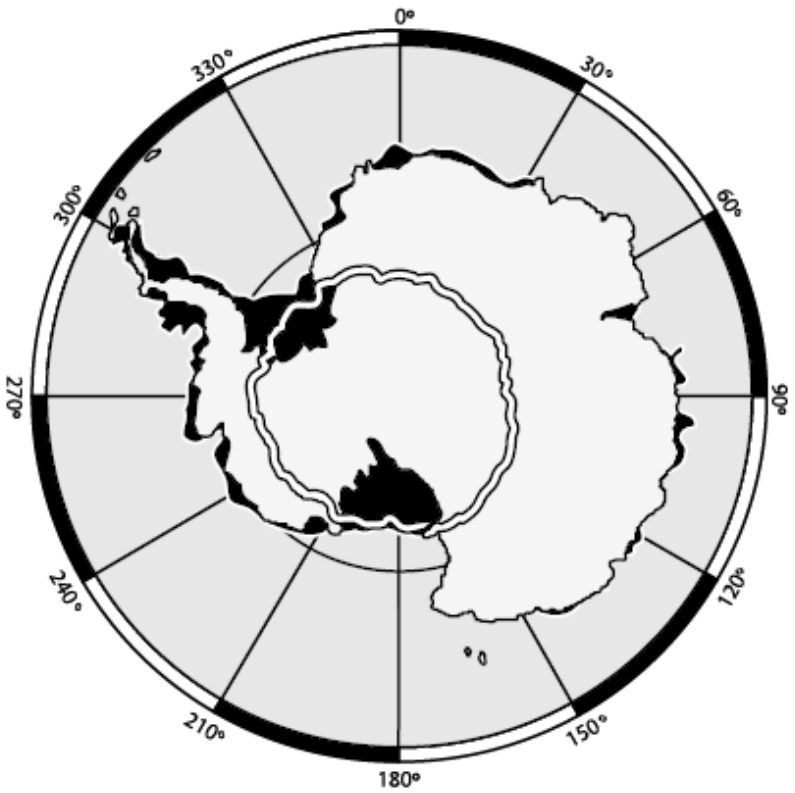
Jednak to, czy kąt widzenia tej charakterystycznej odległości będzie wynosić precyzyjnie jeden stopień, zależeć będzie od geometrii wszechświata. W płaskim wszechświecie promienie świetlne są liniami prostymi. We wszechświecie otwartym wyginają się na zewnątrz, jeśli podążymy ich torem wstecz, a we wszechświecie zamkniętym takie promienie się zbiegają. Dlatego rzeczywisty kąt, pod jakim widzimy przymiar o długości 300 000 lat świetlnych umieszczony w odległości, w której znajduje się powierzchnia ostatniego rozproszenia, zależy od geometrii wszechświata, tak jak pokazano poniżej.



W ten sposób otrzymujemy prosty sposób testowania geometrii Wszechświata. Ponieważ rozmiar największych gorących i zimnych plam w obrazie mikrofalowego promieniowania tła zależy tylko od przyczynowości – faktu, że grawitacja może rozprzestrzeniać się z prędkością światła i w ten sposób największe obszary, które mogły się zapaść w tamtym czasie, wyznacza największa odległość, jaką światło mogło przebiec w tamtym czasie – i ponieważ kąt, pod jakim widzimy wzorcowy przymiar z ustalonej odległości, jest wprost określony przez krzywiznę Wszechświata, prosty obraz powierzchni ostatniego rozproszenia może ukazać nam wielkoskalową geometrię czasoprzestrzeni.

Pierwszą próbę zbadania tego zagadnienia podjęto w eksperymencie BOOMERANG przeprowadzonym w 1977 roku w Antarktyce za pomocą balonu. Akronim powstał z następujących słów: **B**aloon **O**bservations **o**f **M**illimetric **E**xtragalactic **R**adiation **an**d **G**eophysics (Obserwacje milimetrowego promieniowania pozagalaktycznego dzięki zastosowaniu balonu i geofizyki), jednak prawdziwy powód takiej nazwy jest prostszy. Radiometr fal milimetrowych został doczepiony do balonu stratosferycznego, jak pokazuje poniższe zdjęcie.

Balon poleciał wokół świata, co w Antarktyce jest dość proste, wystarczy bowiem okrążyć biegun południowy. Jednak podróż balonu wypuszczonego ze stacji McMurdo, wspomaganego wiatrami antarktycznymi, trwała dwa tygodnie, po których balon powrócił do punktu wyjścia, stąd w nazwie bumerang.




Cel lotu balonem był prosty. Aby uzyskać widok mikrofalowego promieniowania tła, który nie jest zniekształcony przez wpływ gorącej Ziemi (nawet w Antarktyce temperatury są wyższe od wartości mikrofalowego promieniowania tła o jakieś dwieście stopni) i który odzwierciedla temperaturę trzech stopni w skali Kelvina, starano się umieścić instrumentarium pomiarowe jak najwyżej względem gruntu, a nawet powyżej atmosfery ziemskiej. Najlepiej posłużyć się w tym celu satelitami, ale balony stratosferyczne wykonują większość zadania mniejszym kosztem.

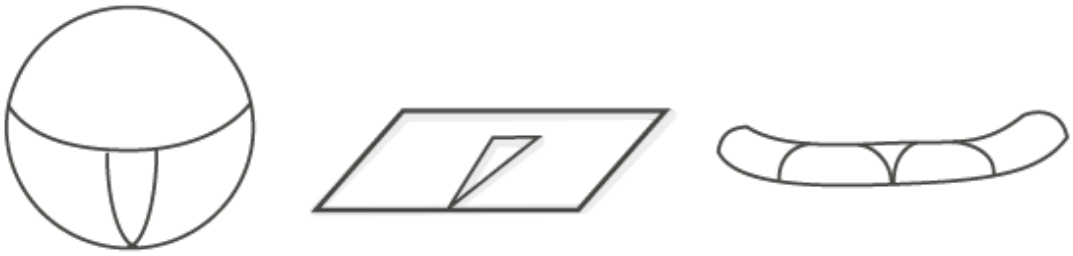
W każdym razie po dwóch tygodniach BOOMERANG dostarczył obraz małej części mikrofalowego nieba z rozłożonymi gorącymi i zimnymi plamami na wzorcu promieniowania z powierzchni ostatniego rozpraszania. Niżej ukazano jeden z obrazów wycinka nieba obserwowanego za pomocą eksperymentu BOOMERANG (z „gorącymi” i „zimnymi” obszarami zacieniowanymi odpowiednio na ciemno i na jasno) nałożonymi na zdjęcie z miejsca wypuszczenia balonu.

Nałożyłem te zdjęcia na siebie z dwóch powodów. Po pierwsze, chciałem ukazać rzeczywistą skalę gorących i zimnych obszarów promieniowania mikrofalowego w porównaniu ze skalą obrazu z planu pierwszego. Po drugie, zamierzałem zwrócić uwagę na inny ważny aspekt zagadnienia, który można nazwać kosmiczną krótkowzrocznością (miopią). Gdy patrzymy na niebo w dzień słoneczny, widzimy kolor niebieski widniejący na poprzednim zdjęciu z balonem. A to wszystko dzięki temu, że w procesie ewolucji uzyskaliśmy możliwość detekcji światła z zakresu widzialnego. Bez wątpienia stało się tak dlatego, że światło pochodzące z powierzchni Słońca ma swe największe natężenie w obszarze widzialnym, a także dlatego że wiele innych długości fal świetlnych zostaje

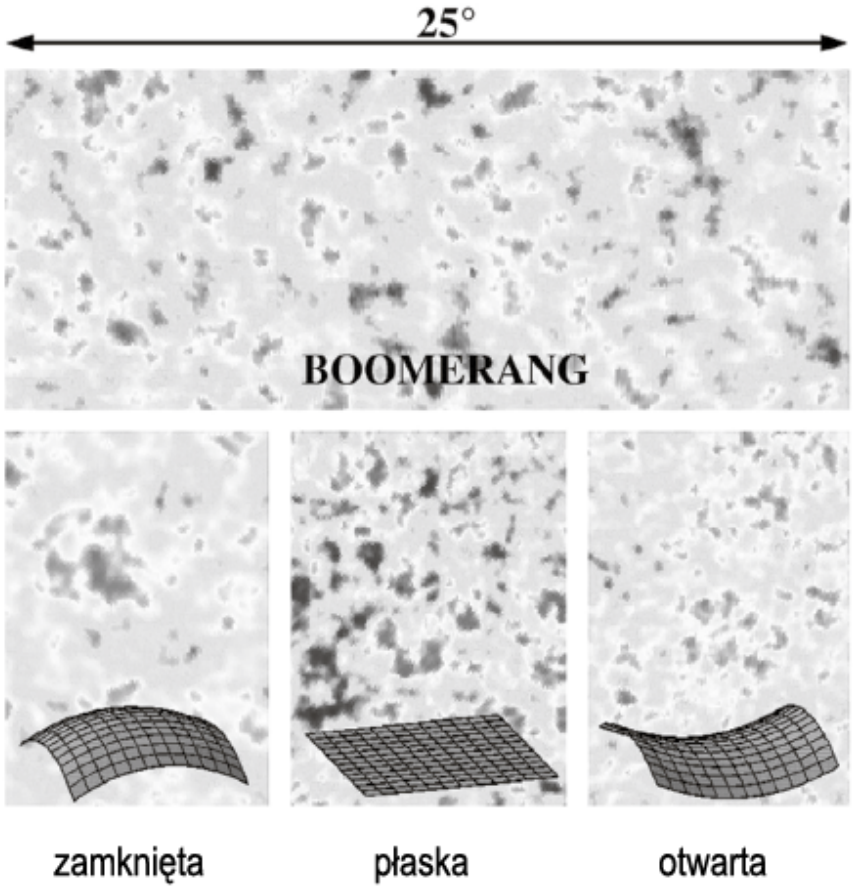
zaabsorbowanych w atmosferze i nie dociera do nas, do powierzchni Ziemi. (To z pewnością fakt dla nas bardzo korzystny, bo większość tego promieniowania może być dla nas szkodliwa). W każdym razie gdybyśmy w procesie ewolucji uzyskali możliwość „widzenia" w zakresie mikrofal, to fotografia nieba, jakie oglądalibyśmy, dniem i nocą, o ile nie patrzylibyśmy bezpośrednio w Słońce, przeniosłaby nas bezpośrednio do obrazu powierzchni ostatniego rozproszenia, około 13 miliardów lat świetlnych w głąb przeszłości. Taki obraz ukazał nam detektor z eksperymentu BOOMERANG.

Pierwszy lot balonu BOOMERANG, z którego pochodzi to zdjęcie, był niezwykle sprzyjający. Antarktyka to bardzo nieprzyjazne i nieprzewidywalne środowisko. W czasie późniejszego lotu w 2003 roku cały eksperyment był zagrożony ze względu na niesprawność balonu, a potem burzę. W ostatniej chwili decyzja odcięcia zasobnika od balonu, zanim zostanie zniesiony w jakieś niedostępne miejsce, uratowała sytuację, a późniejsza misja ratunkowa odzyskała zasobnik ciśnieniowy zawierający dane naukowe.

Zanim przystąpimy do interpretacji zdjęć projektu BOOMERANG, pragnę podkreślić jeszcze raz, że rzeczywisty fizyczny rozmiar gorących i zimnych plam zarejestrowanych na zdjęciu jest efektem prostych zjawisk fizycznych na powierzchni ostatniego rozproszenia, podczas gdy *zmierzone* rozmiary gorących i zimnych plam na zdjęciu wynikają z geometrii Wszechświata. Prosta dwuwymiarowa analogia powinna pomóc w wyjaśnieniu otrzymanych rezultatów: w dwóch wymiarach **geometria zamknięta** przypomina powierzchnię kuli, podczas gdy **geometria otwarta** – powierzchnię siodła. Jeśli wykreślimy trójkąt na tych powierzchniach, to zaobserwujemy efekt, jaki opisałem, ponieważ linie równoległe będą się zbiegać na powierzchni kuli, rozbiegać zaś na powierzchni siodła i oczywiście pozostaną stale równoległe na powierzchni płaskiej.

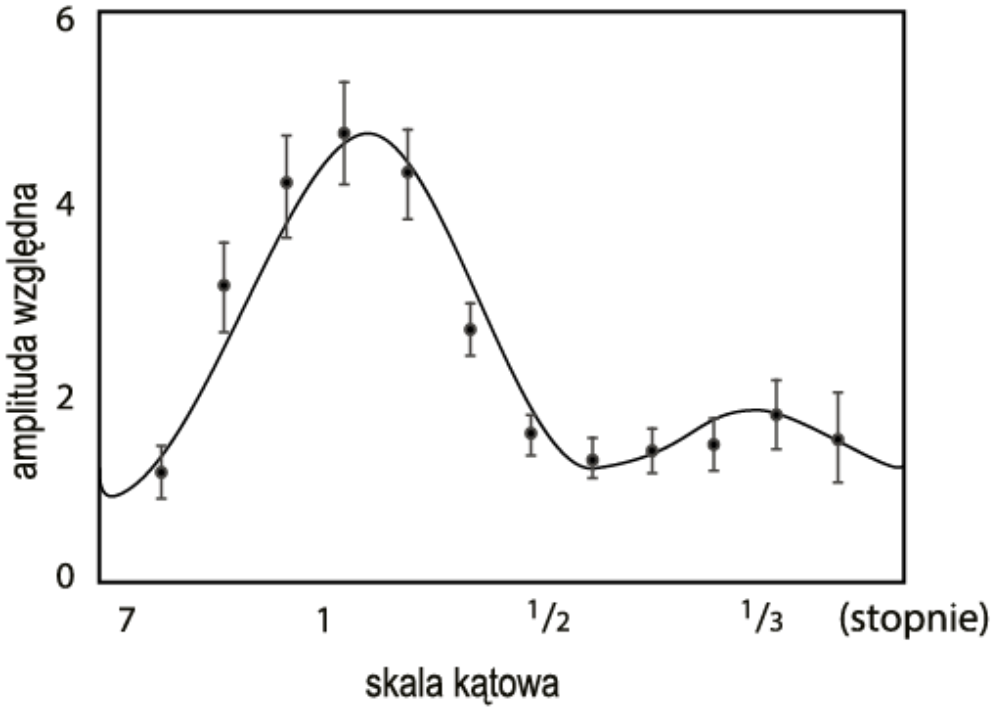



Zatem teraz pytanie za milion dolarów. Jak wielkie są gorące i zimne plamy na zdjęciu z eksperymentu BOOMERANG? Aby na nie odpowiedzieć, zespół badaczy przygotował kilka komputerowych symulacji gorących i zimnych plam, jakie byłyby widoczne w zamkniętym, płaskim i otwartym wszechświecie, a następnie porównał je ze zdjęciami mikrofalowego nieba.



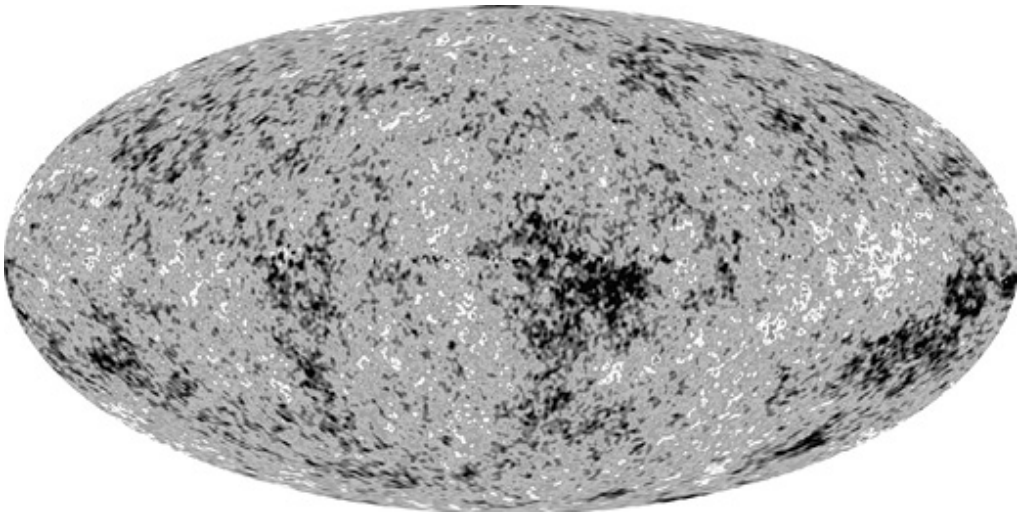
Gdy skupimy wzrok na obrazku u dołu z lewej strony, który dotyczy symulowanego wszechświata zamkniętego, to zobaczymy, że średnie plamy są większe niż w rzeczywistym Wszechświecie. Na prawym obrazku plamy te są mniejsze, ale obrazek w środku przedstawiający wszechświat płaski jest „w sam raz", jak legowisko niedźwiadka w bajce o Złotowłosej. Wydaje się, że ten eksperyment potwierdził wizję pięknego matematycznie wszechświata, wymarzoną przez teoretyków, pomimo że zdecydowanie zaprzecza oszacowaniom otrzymanym za pomocą ważenia gromad galaktyk.

Tak naprawdę zgodność między teorią wszechświata płaskiego i obrazem otrzymanym z balonu BOOMERANG jest tak dobra, że wprost wprawiająca w zakłopotanie. Badając plamy i wyszukując największe, którym wystarczyło czasu, by znacząco grawitacyjnie zapaść się w sobie w chwili powstania powierzchni ostatniego rozproszenia, zespół badaczy stworzył następujący wykres.




Dane zaznaczono punktami. Linia ciągła to przewidywanie dotyczące wszechświata płaskiego z największym skupiskiem materii o rozmiarze kątowym bliskim jednego stopnia!

Po publikacji rezultatów eksperymentu BOOMERANG NASA wystrzeliła satelitę wyposażonego w znacznie bardziej czułe oprzyrządowanie badające mikrofalowe promieniowanie tła – Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Uczczono w ten sposób pamięć zmarłego fizyka z Princeton, Davida Wilkinsona, który powinien był pierwszy odkryć promieniowanie tła, gdyby nie zgarnęli mu tego odkrycia dwaj inżynierowie z Laboratoriów Bella. WMAP został wystrzelony z Ziemi w czerwcu 2001 roku na odległość niemal dwóch milionów kilometrów, gdzie w punkcie swej orbity dalszej od Słońca mógł dokonać przeglądu mikrofalowego nieba bez obawy zniekształceń wywoływanych przez światło słoneczne. W ciągu siedmiu lat sfotografował z niebywałą precyzją całe mikrofalowe niebo (a nie tylko część jak BOOMERANG, który musiał jeszcze walczyć z obecnością Ziemi poniżej).



Na powyższym zdjęciu dokonano rzutowania całego nieba na płaszczyznę, tak jak powierzchnię Ziemi rzutuje się na płaską mapę. Płaszczyzna naszej Galaktyki leży wzdłuż równika, 90 stopni ponad nią znajduje się biegun północny, a biegun południowy 90 stopni poniżej. Obraz Galaktyki został jednak usunięty z mapy w celu odzwierciedlenia promieniowania pochodzącego tylko z powierzchni ostatniego rozproszenia.

Dzięki tym wyjątkowym danym można było dokonać znacznie bardziej precyzyjnego oszacowania geometrii Wszechświata. Wykres danych z WMAP podobny do tego z eksperymentu BOOMERANG potwierdził z dokładnością do jednego procentu, że żyjemy w płaskim Wszechświecie! Oczekiwania teoretyków okazały się poprawne. Znów jednak nie możemy zignorować oczywistej niespójności tego rezultatu z wynikiem, jaki opisałem w poprzednim rozdziale. Ważenie Wszechświata przez wyznaczanie masy galaktyk i gromad galaktyk daje wartość trzy razy mniejszą niż potrzebna dla płaskości Wszechświata. Coś musi zawierać tę brakującą różnicę.

Chociaż teoretycy mogliby poklepywać się po plecach, podziwiając trafność przewidywania płaskości Wszechświata, nikt nie był przygotowany na niespodziankę, jaką sprawiła natura, ujawniając sprzeczność oszacowań geometrii Wszechświata w wyniku sumowania masy i bezpośredniego wyznaczenia jego krzywizny. Brakująca energia potrzebna do otrzymania płaskiego wszechświata okazała się ukryta tuż pod naszymi nosami. Dosłownie!

# Rozdział 4

# Wiele hałasu o nic

*Mniej znaczy więcej.*

Ludwig Mies van der Rohe, za Robertem Browningiem

Jeden krok naprzód, dwa do tyłu – tak mniej więcej wyglądają nasze próby zrozumienia Wszechświata. Obserwacje ostatecznie określiły jego krzywiznę – i tym samym potwierdziły dawne teoretyczne przypuszczenia – pomimo że we Wszechświecie jest dziesięciokrotnie więcej materii, niż wynika to z rozprzestrzenienia protonów i neutronów, a nawet pomimo tego że do zbilansowania jego całkowitej energii zupełnie nie wystarcza ogromna ilość ciemnej materii, stanowiącej 30 procent masy wymaganej do stworzenia płaskiego wszechświata. Bezpośrednie zmierzenie geometrii Wszechświata i w konsekwencji odkrycie, że naprawdę jest płaski, oznaczało, że wciąż brakujące 70 procent jego energii nie znajduje się w galaktykach ani wokół nich, ani nawet w gromadach galaktyk!

Nie było jednak tak źle. Nawet przed pomiarami krzywizny Wszechświata i przed wyznaczeniem całkowitej zbrylonej masy w nim zawartej (opisanym w rozdziale 2) pojawiły się oznaki, że w tym czasie konwencjonalny obraz Wszechświata, nawet z dostateczną ilością ciemnej materii (dokładnie trzy razy większą, niż to obecnie stwierdziliśmy), nie był spójny z obserwacjami. Już w 1995 roku razem z moim kolegą Michaelem Turnerem z uniwersytetu w Chicago napisałem pracę graniczącą wtedy z herezją, sugerującą, że ten konwencjonalny obraz może nie być

poprawny. Jedyną możliwość, aby płaskość Wszechświata (preferowana w tym czasie hipoteza) stała się spójna z obserwacjami dynamiki gromad galaktyk, stwarzał naszym zdaniem obraz znacznie bardziej udziwniony i oparty na szalonym pomyśle Einsteina. Tym, który potem porzucił, zastosowanym w 1917 roku, aby rozwiązać oczywistą sprzeczność między przewidywaniami jego teorii a wszechświatem statycznym, w jakim – jak sądził – żyjemy.

Przypominam sobie, że motywem naszego postępowania w tamtym czasie było raczej pokazanie, że coś szwankuje w naszej wiedzy, niż podanie ostatecznego rozwiązania problemu. Propozycja ta wydawała się zbyt szalona, by w nią uwierzyć, dlatego, tak mi się wydaje, nikt nie był bardziej zaskoczony ode mnie, gdy trzy lata później okazało się, że nasza herezja ostatecznie okazała się słuszna!

Powróćmy zatem do 1917 roku. Przypomnijmy sobie, że Einstein stworzył w tym czasie ogólną teorię względności i miał palpitacje serca spowodowane radością odkrycia zagadki precesji peryhelium Merkurego, a jednocześnie musiał stawić czoło faktowi, że jego teoria nie może wyjaśnić statycznego wszechświata, w którym, jak mu się wydawało, żyje.

Gdyby miał większe przekonanie o swej słuszności, mógłby *przewidzieć*, że Wszechświat nie może być statyczny. Takiego przekonania jednak nie miał. Zamiast tego wydawało mu się, że mógłby dokonać w swej teorii małej zmiany, która umożliwiałaby uzyskanie rozwiązania równań dla obrazu Wszechświata statycznego i jednocześnie była zgodna z matematycznymi argumentami, które doprowadziły go do stworzenia ogólnej teorii względności.

Choć szczegóły równań Einsteina są dość skomplikowane, to ogólna ich struktura jest raczej prosta. Ich lewa strona opisuje krzywiznę Wszechświata i siły grawitacyjne działające na materię i promieniowanie. Po prawej stronie równań występuje gęstość wszystkich rodzajów energii i materii wewnątrz Wszechświata.

Einstein zdał sobie sprawę, że mały dodatkowy człon dodany do lewej strony równań będzie reprezentował stałą, niewielką *odpychającą* siłę działającą w całej przestrzeni jako dodatek do standardowej przyciągającej grawitacji działającej na wszystkie ciała

i zanikającej wraz ze zwiększającą się odległością między nimi. Gdyby ta siła odpychająca była wystarczająco mała, byłaby niewykrywalna w ludzkiej skali ani nawet skali Układu Słonecznego, w którym prawo grawitacji Newtona działa tak pięknie. Skoro zaś jest stała w całej przestrzeni, rozumował Einstein, może skumulować się tak, że w skali Galaktyki będzie wystarczająco wielka, aby przeciwstawić się siłom przyciągającym pomiędzy bardzo odległymi obiektami. W ten sposób Wszechświat w ogromnej skali mógłby stać się statyczny.

Einstein nazwał ten dodatek *członem kosmologicznym*. A ponieważ jest on stały, to teraz nazywa się go *stałą kosmologiczną*.

Gdy już zdał sobie sprawę, że Wszechświat rzeczywiście się rozszerza, postanowił odrzucić ten człon, a decyzję dodania go nazwał swą największą pomyłką.

Nie da się jednak tak łatwo go pozbyć. To jak próba ponownego wepchnięcia wyciśniętej z tubki pasty do zębów. Powodem jest to, że dzisiaj zupełnie inaczej traktujemy stałą kosmologiczną, zatem gdyby Einstein jej nie dodał, ktoś inny by to zrobił w latach późniejszych.

Przesunięcie członu Einsteina z lewej strony jego równania na stronę prawą to dla matematyka niewielkie zagadnienie, ale dla fizyka ogromny skok jakościowy. Podczas gdy matematycznie jest to trywialne zagadnienie, gdy już człon ten znajdzie się po stronie prawej, tam gdzie są wszystkie współczynniki związane z energią Wszechświata, z fizycznego punktu widzenia to coś zupełnie innego – nowy wkład do energii całkowitej. Z czym związany jest ten nowy człon energii?

Odpowiedź brzmi: *z niczym*.

Mówiąc *nic*, nie mam na myśli tego, co na ogół rozumie się jako pustą przestrzeń. Innymi słowy, jeśli wezmę obszar przestrzeni i pozbędę się wszystkiego, co w nim jest – pyłu, gazu, ludzi, a nawet promieniowania, dosłownie *wszystkiego*, co tam jest – a pusta pozostałość będzie jednak *coś ważyć*, to będzie to odpowiadać istnieniu członu kosmologicznego, jaki wymyślił Einstein.

Teraz stała kosmologiczna Einsteina wydaje się jeszcze bardziej zwariowana! Bo każdy uczeń czwartej klasy powie wam, jak wiele

energii jest w niczym, nawet jeśli nie wie, co to jest energia. Odpowiedź musi brzmieć – nic.

Niestety większość czwartoklasistów nie zna jeszcze mechaniki kwantowej ani teorii względności. Gdy zaś połączy się szczególną teorię względności z mechaniką kwantową, pusta przestrzeń staje się jeszcze bardziej dziwna, niż była przedtem. W istocie tak dziwna, że nawet fizycy, którzy pierwsi odkryli i analizowali te nowe własności, musieli uwierzyć, iż istnieją one w realnym świecie.

Pierwszym, który włączył szczególną teorię względności do mechaniki kwantowej, był błyskotliwy brytyjski fizyk teoretyk Paul Dirac; on również przyczynił się do rozwoju podstaw teoretycznych mechaniki kwantowej.

Mechanika kwantowa została stworzona między 1912 a 1927 rokiem, głównie dzięki pracom znakomitego duńskiego fizyka Nielsa Bohra, równie bystrego młodego austriackiego fizyka Erwina Schrödingera oraz niemieckiego fizyka Wernera Heisenberga. Kwantowy świat pokazany po raz pierwszy przez Bohra, a potem udoskonalony matematycznie przez Schrödingera i Heisenberga, przeciwstawia się temu, czego doświadczamy podczas obserwacji obiektów w dostępnej nam skali, oraz wszystkim zdroworozsądkowym pojęciom. Bohr zaproponował najpierw, że elektrony w atomach krążą po orbitach wokół jądra, tak jak planety wokół Słońca, ale wykazał, że obserwowane reguły, jakim podlegają widma atomowe (częstości promieniowania emitowane przez różne rodzaje pierwiastków), da się zrozumieć, tylko jeśli w jakiś sposób elektrony zostaną utrzymane na stabilnych orbitach z ustalonego zbioru „kwantowych poziomów", zamiast spaść po spiralnym torze wprost na jądro atomowe. Mogą przy tym zmieniać poziomy dzięki absorbowaniu albo emitowaniu promieniowania o ściśle określonych częstościach, albo, inaczej mówiąc, kwantów światła – tych samych, których istnienie postulował Max Planck w 1905 roku w celu wyjaśnienia promieniowania emitowanego przez gorące obiekty.

„Zasady kwantowania" Bohra były jednak wymyślone *ad hoc*. W latach dwudziestych XX wieku Schrödinger i niezależnie Heisenberg wykazali, że można je wyprowadzić z zasad fizyki klasycznej, jeśli elektrony podlegają prawom dynamiki, które są

zupełnie odmienne od tych stosowanych do obiektów makroskopowych, takich jak piłki do bejsbola. Elektrony mogą zachowywać się jak cząstki i jak fale, wykazując rozmycie w całej przestrzeni (stąd „funkcja falowa" Schrödingera dla elektronów), a z pomiarów własności elektronów wynika, że mają one charakter probabilistyczny i pomiar niektórych ich kombinacji nie może być dokładny, gdy jednocześnie chce się zmierzyć ich prędkość i położenie (stąd „zasada nieoznaczoności" Heisenberga).

Dirac wykazał, że matematykę zaproponowaną przez Heisenberga w celu opisania układu kwantowego (za którą Heisenberg otrzymał Nagrodę Nobla w 1932 roku) można wyprowadzić przez analogię z dobrze znanych praw rządzących dynamiką klasycznych obiektów makroskopowych. Co więcej, później dowiódł, że matematycznie „mechanika falowa" Schrödingera może być także formalnie równoważna ze sformułowaniem Heisenberga. Jednocześnie Dirac przekonał się, że mechanika kwantowa Bohra, Heisenberga i Schrödingera, choć niezwykła, stosuje się tylko do takich układów kwantowych, w których najbardziej odpowiednie byłyby zasady Newtona, a nie szczególna teoria względności.

Uczony ten nawykł do myślenia w sposób matematyczny, a nie obrazowy, i gdy starał się uczynić mechanikę kwantową spójną ze szczególną teorią względności, próbował rozważać wiele różnorodnych rodzajów równań. Brał więc pod uwagę również takie, które zawierały skomplikowany wielokomponentowy układ równań sugerujący, że elektrony mają „spin" – to znaczy moment pędu – wirując jak małe bąki wokół dowolnej osi albo zgodnie ze wskazówkami zegara, albo w przeciwnym kierunku.

W 1929 roku natrafił na żyłę złota. Równanie Schrödingera pięknie i dokładnie opisuje zachowanie elektronów poruszających się z prędkościami znacznie mniejszymi od prędkości światła. Dirac przekształcił je w bardziej złożone równanie, używając obiektów matematycznych zwanych macierzami – w istocie oznaczało to, że jego równanie stanowi układ czterech sprzężonych równań – i w ten sposób dokonał unifikacji mechaniki kwantowej ze szczególną teorią względności, co w zasadzie umożliwiło opis układu, w którym elektrony poruszają się ze znacznie większymi prędkościami.

Pojawił się jednak problem. Dirac stworzył równanie, które zgodnie z jego zamiarem miało opisywać oddziaływania elektronów z polem elektrycznym i magnetycznym. Wynikała z niego natomiast możliwość istnienia cząstek takich jak elektron, z tym że obdarzonych ładunkiem przeciwnym.

W tym czasie wiedziano o istnieniu jednego rodzaju cząstki z ładunkiem przeciwnym do elektronu – był nią proton, ale protony nie mają takich własności jak elektrony. Przede wszystkim są dwa tysiące razy cięższe!

Dirac był skołowany. W akcie desperacji chciał dowodzić, że tymi nowymi cząstkami są protony, które na skutek oddziaływań ze sobą w czasie poruszania się w przestrzeni stają się cięższe. Nie trzeba było długo czekać, gdy inni uczeni, w tym Heisenberg, wykazali, że ta sugestia nie ma sensu.

Natura wkrótce przyszła z odsieczą. Nie minęły dwa lata od ogłoszenia przez Diraca jego równania i rok od kapitulacji badacza i pogodzenia się przezeń z faktem, że jeśli jego pomysł jest poprawny, to musi istnieć nowa cząstka, gdy eksperymentatorzy badający promieniowanie kosmiczne bombardujące Ziemię wykryli ślad nowej cząstki identycznej z elektronem, ale mającej przeciwny ładunek elektryczny. Nazwano ją pozytonem.

Dirac miał słuszność, ale później przyznał, że brak wiary we własną teorię brał się stąd, iż równanie było mądrzejsze od niego samego!

Teraz pozyton nazywamy „antycząstką" elektronu, ponieważ okazało się, że odkrycie Diraca jest jeszcze bardziej uniwersalne, niż przypuszczał. Z tej samej fizyki, która wymaga dla elektronu antycząstki, wynika także, że prawie każda cząstka występująca w naturze musi mieć swą antycząstkę. Na przykład protony mają antyprotony. Nawet niektóre neutralne elektrycznie cząstki, jak neutrony, mają antycząstki. Gdy cząstka spotyka antycząstkę, następuje ich anihilacja związana z przekształceniem obu w promieniowanie.

Chociaż może brzmieć to jak fantastyka naukowa (i rzeczywiście antymateria gra ważną rolę w *Star Treku*), to jednak wytwarzamy antycząstki w dużych akceleratorach na całym świecie. A ponieważ antycząstki poza ładunkiem mają takie same własności jak cząstki,

świat stworzony z antymaterii byłby taki sam jak świat z materii, z antyparami w antysamochodach kochającymi się w świetle antyksiężyca. Dzięki przypadkowi, na który wpływ miały, jak się sądzi, bardziej istotne czynniki, do których dojdziemy później, żyjemy we Wszechświecie zbudowanym z materii, a nie antymaterii, lub w którym ich ilości są jednakowe. Lubię przytaczać takie porównanie. Jeśli antymateria wydaje się dziwna, to w takim sensie dziwna, jak dziwni wydają się Belgowie. A przecież nie są wcale dziwni, tylko po prostu bardzo rzadko się ich spotyka.

Istnienie antymaterii czyni świat miejscem znacznie bardziej interesującym, ale także komplikuje jeszcze bardziej naturę próżni.

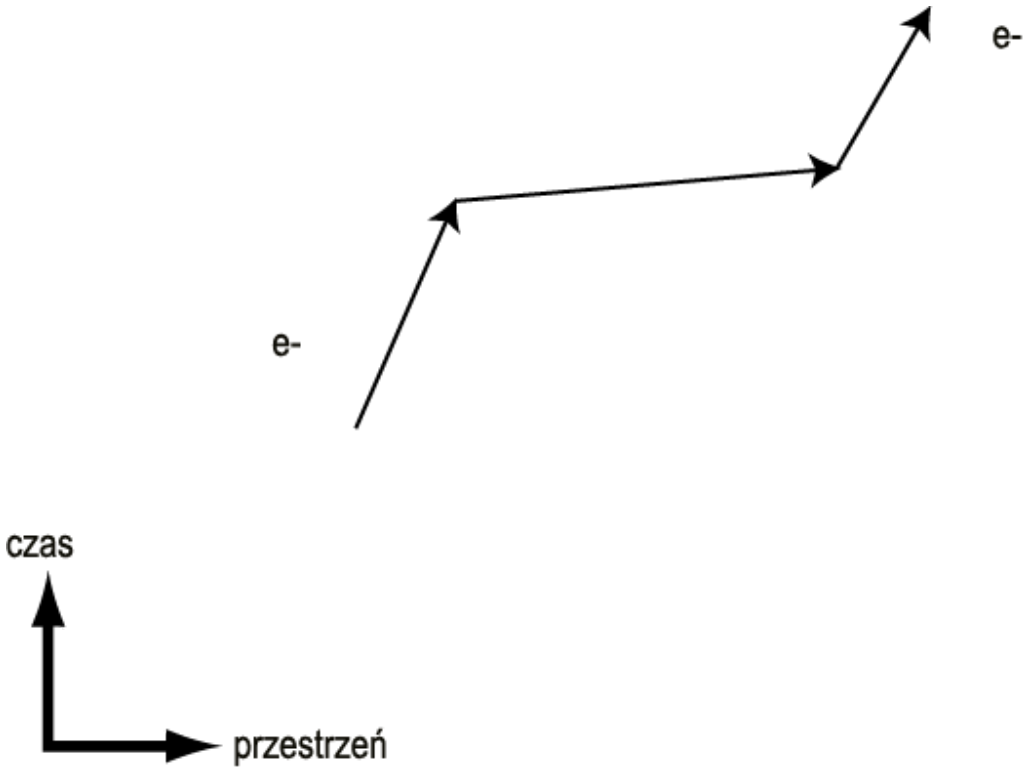
Legendarny fizyk Richard Feynman wyjaśnił w sposób intuicyjny, dlaczego szczególna teoria względności wymaga istnienia antycząstek, a także pokazał za pomocą grafów, że pusta przestrzeń nie jest wcale taka pusta. Feynman wykorzystał fakt znany z teorii względności, że pomiary odległości i czasu wykonane przez obserwatorów poruszających się z różnymi prędkościami będą różne. Na przykład czas będzie wolniej płynął dla obiektów poruszających się bardzo szybko. Jeśli w jakiś sposób obiekt mógłby poruszać się szybciej od światła, to wydawałoby się, że porusza się w czasie wstecz, co jest jednym z powodów, dla których prędkość światła jest uważana za graniczną prędkość kosmiczną.

Jednak zasada nieoznaczoności Heisenberga, naczelna zasada mechaniki kwantowej, głosi, że w zadanym stanie nie można jednocześnie dokładnie zmierzyć pewnych par wielkości, takich jak położenie i prędkość. Podobnie jeśli mierzymy układ w określonym i ustalonym przedziale czasu, to nie możemy określić dokładnie jego całkowitej energii.

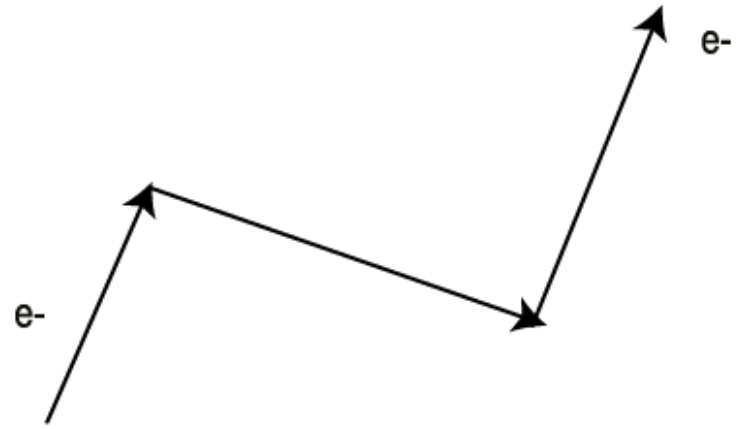
Z tego wszystkiego wynika, że w bardzo krótkich interwałach czasu, tak krótkich, że nie można zmierzyć dokładnie prędkości, mechanika kwantowa dopuszcza, że cząstki te mogą zachowywać się tak, jakby poruszały się szybciej od światła! Jeśli zaś poruszają się szybciej od światła, to według Einsteina muszą zachowywać się tak, jakby poruszały się w czasie wstecz!

Feynman był wystarczająco odważny, aby poważnie potraktować tę jawnie szaloną możliwość i zbadać jej implikacje. Narysował

następujący diagram dla poruszającego się elektronu, okresowo przyspieszającego w połowie podróży do prędkości większej od światła.

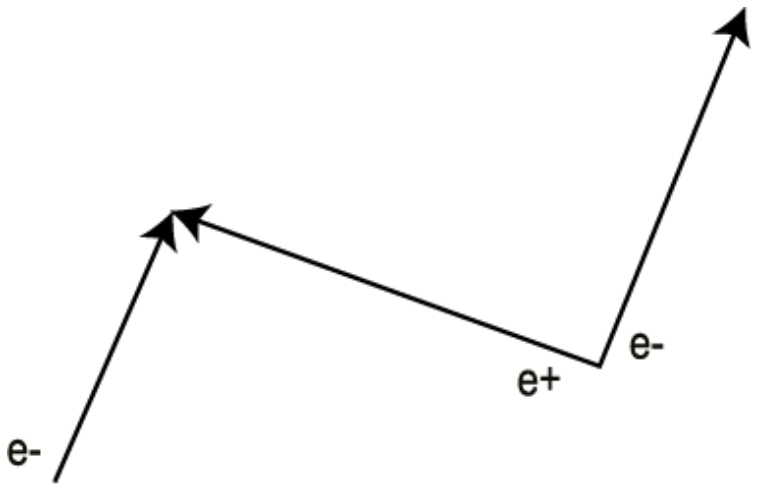



Zdał przy tym sobie sprawę, że z powodu relatywistycznej względności ruchu inny obserwator mógłby zmierzyć coś, co pokazano na rysunku poniżej, elektron poruszający się w przód w czasie, potem w czasie wstecz i w końcu znowu w czasie w przód.



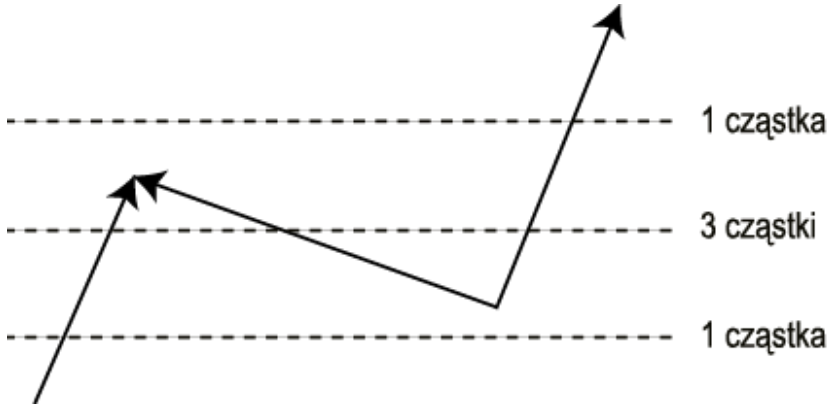

Jednak ujemny ładunek elektryczny poruszający się w czasie wstecz jest matematycznie równoważny z dodatnim ładunkiem elektrycznym poruszającym się w czasie w przód! W ten sposób w teorii względności można wprowadzić dodatnio naładowane cząstki z masą i własnościami podobnymi do elektronów.

W tym wypadku drugi diagram Feynmana można interpretować następująco: elektron się porusza, a potem w innym miejscu przestrzeni zostaje stworzona z niczego para pozyton–elektron, potem pozyton napotyka pierwszy elektron i oba anihilują. Następnie pozostaje elektron, który porusza się od miejsca kreacji pary.




Jeśli nie sprawi wam to kłopotu, to rozpatrzmy następujący układ: w pewnym momencie, nawet jeśli początkowo mieliśmy jedną

cząstkę i na koniec mamy jedną cząstkę, były aż trzy poruszające się cząstki.




W krótkiej chwili pośrodku, na maleńki moment, coś rozmnożyło się z niczego! Feynman, posługując się analogią wojenną, pięknie opisuje ten jawny paradoks w swej *Teorii pozytonu* z 1949 roku:

> To jakby w lecącym nisko samolocie bombardier obserwował przez celownik pojedynczą nitkę drogi i zobaczywszy nagle trzy drogi, z czego dwie znikają, znów się schodząc, zdał sobie sprawę, że w tym momencie po prostu przelatywał nad długą serpentyną pojedynczej drogi.

Dopóki interwał czasu na tej „serpentynie” jest na tyle krótki, że nie możemy zmierzyć bezpośrednio wszystkich cząstek, dopóty mechanika kwantowa i teoria względności nie tylko dopuszczają możliwość istnienia takiej dziwnej sytuacji, ale istnienia jej wręcz wymagają. Cząstki, które pojawiają się i znikają w skali czasowej zbyt krótkiej na dokonanie pomiaru, są nazywane *cząstkami wirtualnymi*.

Wynalezienie całego zbiorowiska cząstek w pustej przestrzeni, których nie można zmierzyć, brzmi całkiem podobnie jak teza o wielkiej liczbie aniołów przebywających na główce szpilki. Byłaby to równie bezwartościowa idea, gdyby te cząstki nie powodowały innych mierzalnych efektów. Jednak, choć nie są bezpośrednio

obserwowalne, okazuje się, że *pośrednie* efekty przez nie wywołane odpowiadają za większość charakterystycznych cech Wszechświata, jakie dzisiaj obserwujemy. Ponadto obliczenia z udziałem tych cząstek są znacznie bardziej precyzyjne niż inne rachunki naukowe.

Rozważmy na przykład atom wodoru – układ, który Bohr chciał objaśnić, rozwijając swą teorię kwantów, a Schrödinger później starał się opisać za pomocą sławnego równania. Piękno mechaniki kwantowej leży w tym, że potrafi ona wyjaśnić specyficzne kolory światła emitowanego przez rozgrzany wodór, dowodząc, że elektrony orbitujące wokół protonu mogą zajmować tylko dyskretne poziomy energetyczne, a gdy przeskakują pomiędzy poziomami, absorbują i emitują jedynie ustalone częstości światła. Równanie Schrödingera pozwala obliczyć przewidywane częstości, a otrzymany wynik jest prawie dokładnie zgodny z eksperymentem.

Prawie, ale nie całkiem.

Gdy dokładnie bada się widmo wodoru, okazuje się ono bardziej skomplikowane, zawiera bowiem małe dodatkowe rozszczepienia linii, zwane „strukturą subtelną". Chociaż o rozszczepieniach wiedziano od czasów Bohra i przypuszczano, że mają one związek z efektami relatywistycznymi, to do momentu powstania w pełni relatywistycznej teorii nikt nie potrafił potwierdzić tych sugestii. Na szczęście równanie Diraca bardziej poprawnie formułuje przewidywania w porównaniu z równaniem Schrödingera i w związku z tym odtwarza ogólną strukturę widma, w tym strukturę subtelną.

Do tej pory wszystko się zgadzało, ale w kwietniu 1947 roku amerykański fizyk doświadczalny Willis Lamb i jego student Robert C. Retherford wykonali eksperyment, który mógł wydawać się słabo uzasadniony. Na ich korzyść przemawiało natomiast to, że posiadali technologię umożliwiającą pomiar poziomów energetycznych wodoru z dokładnością do jednej stumilionowej.

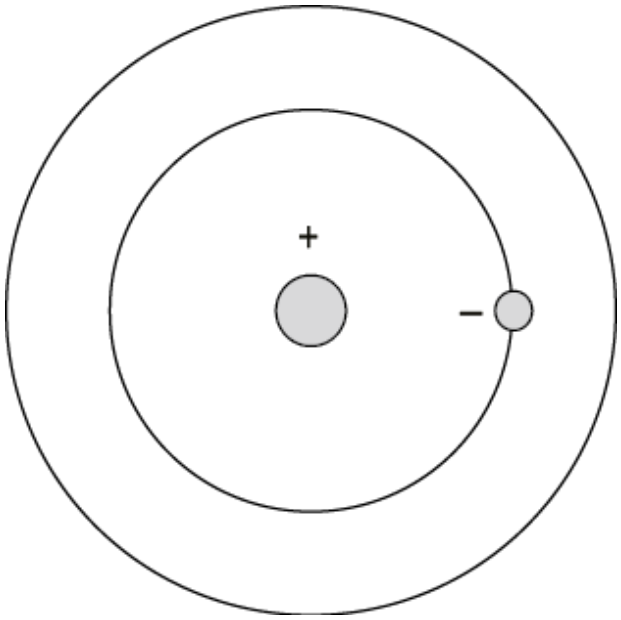
Czemu zatem nie spróbować? Otóż gdy eksperymentator znajduje nową metodę pomiaru z precyzją wcześniej niedostępną, to często właśnie jest to wystarczająca motywacja. W ten sposób odkryto całą gamę nowych światów, gdy w 1676 roku holenderski uczony Antonie Philips van Leeuwenhoek po raz pierwszy spojrzał przez mikroskop na pozornie czystą kroplę wody i odkrył, że obfituje ona w życie.

Jednak w omawianym wypadku eksperymentatorzy mieli bardziej bezpośrednie motywy. Do czasu eksperymentu Lamba dokładność pomiarów nie umożliwiała szczegółowego sprawdzenia przewidywań równania Diraca.

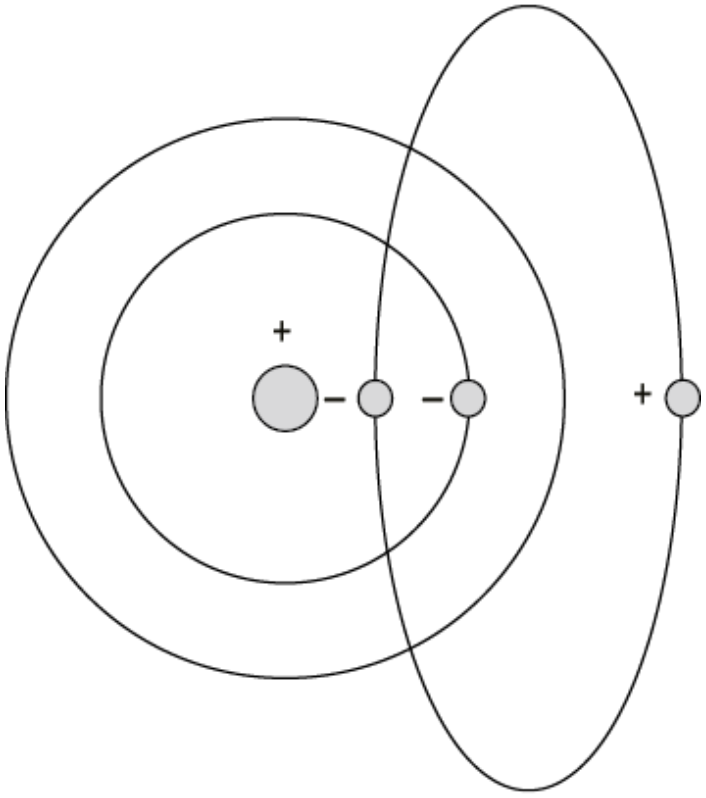
Równanie Diraca przewidywało ogólną strukturę widma, ale kluczowym zagadnieniem, które chciał sprawdzić Lamb, było to, czy uwzględnia ono wszystkie jego szczegóły. Był to jedyny sposób przetestowania teorii. A gdy Lamb sprawdził teorię, wydawało się, że daje ona błędne przewidywania na poziomie dokładności jednej dziesięciomilionowej, znacznie powyżej dokładności jego przyrządu pomiarowego.

Takie małe niedopasowanie teorii do eksperymentu mogłoby się wydawać całkiem uzasadnione, ale przewidywania najprostszej interpretacji teorii Diraca były jednoznaczne. Jednoznaczne były także wyniki eksperymentu. A jednak się między sobą różniły.

W ciągu kilku następnych lat największe teoretyczne umysły ruszyły do boju, starając się rozwiązać tę rozbieżność. Odpowiedź uzyskano dzięki wytężonej pracy, a gdy już opadł kurz, zdano sobie sprawę, że równanie Diraca daje poprawną odpowiedź, ale tylko gdy uwzględni się cząstki wirtualne. Obrazowo można to pokazać w następujący sposób. Atomy wodoru zwykle są przedstawiane w książkach jakoś tak, z protonem umieszczonym w centrum i elektronem orbitującym wokół niego i mogącym przeskakiwać na różne poziomy.




Gdy zaś pojawia się możliwość spontanicznej kreacji par elektron–pozyton na chwilkę, a potem ich anihilacja, to przez krótki czas atom wodoru może wyglądać tak:



Po prawej stronie rysunku umieściłem taką parę, która następnie anihiluje u góry. Wirtualny elektron, będąc ujemnie naładowany, trzyma się bliżej protonu, podczas gdy pozyton woli znaleźć się od niego dalej. W każdym razie z rysunku jasno wynika, że rzeczywisty rozkład ładunku w atomie wodoru *nie* jest, w każdej chwili, opisany jedynie przez elektron i proton.

To niesamowite, my, fizycy, nauczyliśmy się (dzięki ciężkiej pracy Feynmana i innych) obliczać z dowolną precyzją za pomocą równania Diraca wpływ na widmo wodoru wszystkich możliwych cząstek wirtualnych powstających sporadycznie w jego sąsiedztwie. A gdy to robimy, to otrzymujemy *najlepsze, najbardziej precyzyjne przybliżenie, jakie można dotąd osiągnąć w nauce*. Wszystko inne w porównaniu z tym blednie. W astronomii najnowsze obserwacje mikrofalowego promieniowania tła umożliwiają nam porównanie teoretycznych przewidywań z dokładnością jednej stutysięcznej, co jest samo w sobie niezwykłe. Dzięki równaniu Diraca zaś i wykorzystaniu przewidzianych w nim cząstek wirtualnych możemy obliczać parametry struktury atomowej, zyskując zgodność z eksperymentem na poziomie około jednej miliardowej albo i lepszą!

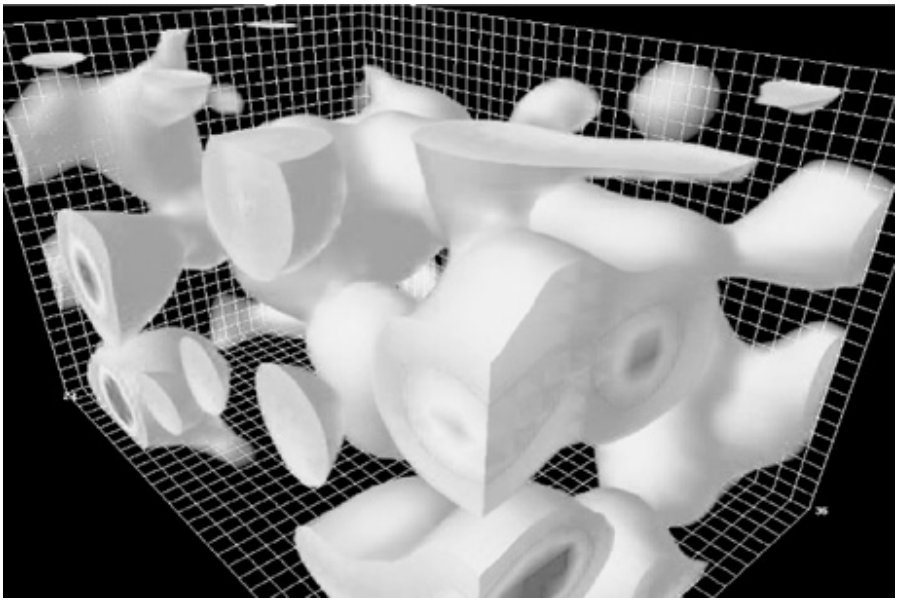
Dlatego cząstki wirtualne istnieją.

Chociaż spektakularną dokładność fizyki atomowej trudno doścignąć, to jednak jest takie miejsce, gdzie cząstki wirtualne grają ważną rolę, także w świetle zagadnień poruszanych w tej książce. Okazuje się, że odpowiadają one za naszą masę i za wszystko, co jest widoczne we Wszechświecie.

Jeden z największych sukcesów w gruntownym zrozumieniu materii osiągnięto w latach siedemdziesiątych XX wieku. Związany jest z powstaniem teorii, która poprawnie opisuje oddziaływania kwarków. Z cząstek tych zbudowane są protony i neutrony tworzące materię, z której stworzeni jesteśmy wszyscy i wszystko to, co widoczne. Matematyka tej teorii jest na tyle złożona, że trzeba było dziesiątków lat, aby stworzyć techniki pozwalające na jej wykorzystanie, szczególnie w tym zakresie, w którym oddziaływania silne pomiędzy kwarkami stają się istotne. Stworzono program na miarę Herkulesa, a w jego ramach przewidziano zbudowanie

najbardziej skomplikowanych komputerów wykonujących obliczenia równoległe, wykorzystujących dziesiątki tysięcy procesorów do obliczeń podstawowych własności protonów i neutronów.

Po wykonaniu tej pracy mamy obraz tego, co rzeczywiście dzieje się wewnątrz protonu. Mogą się tam znajdować trzy kwarki, ale także dużo innych rzeczy. W szczególności kreowane są cały czas i natychmiast znikają cząstki wirtualne związane z kwantami pola przekazującymi oddziaływania silne pomiędzy kwarkami. Poniższe zdjęcie pokazuje, jak rzeczy faktycznie się mają. Oczywiście nie jest to realna fotografia, ale artystyczna wizja matematyki, odpowiadająca dynamice kwarków i pól, z którymi są związane. Dziwne kształty i różnorodne cieniowania odpowiadają natężeniu pól oddziałujących ze sobą i z kwarkami wewnątrz protonu, gdy cząstki wirtualne pojawiają się i znikają.



Cząstki wirtualne sporadycznie zapełniają proton i gdy szacuje się ich wkład do jego masy, to same kwarki wnoszą niewielki wkład, natomiast pola tworzone przez te cząstki mają istotny udział w energii spoczynkowej protonu, a tym samym w masie spoczynkowej. To samo dotyczy neutronu, a skoro jesteśmy zbudowani z protonów i neutronów, odnosi się także do nas!

Jeśli możemy obliczyć, jaki wpływ mają cząstki wirtualne na pustą przestrzeń w atomach i na zewnątrz nich, i oszacować wpływ cząstek wirtualnych na pustą przestrzeń wewnątrz protonów, to czy nie możemy zbadać, jaki wpływ mają cząstki wirtualne na prawdziwie pustą przestrzeń?

Otóż takie obliczenia w rzeczywistości znacznie trudniej wykonać. A to z tego powodu, że gdy szacujemy wpływ cząstek wirtualnych na atomy albo na masę protonu, obliczamy całkowitą energię atomu albo protonu *zawierającego* cząstki wirtualne; następnie zaś całkowitą energię, którą wnosiłyby cząstki wirtualne, gdyby atom albo proton nie był obecny (to znaczy w pustej przestrzeni); a *potem* odejmujemy dwie liczby, aby otrzymać sam wpływ cząstek wirtualnych. Tak postępujemy, ponieważ okazuje się, że formalnie gdy rozwiązujemy odpowiednie równania, każda z tych energii staje się nieskończona, ale gdy odejmujemy obie wielkości, otrzymujemy skończoną różnicę, a ponadto taką, która dokładnie odpowiada mierzonej wielkości!

Gdy natomiast chcemy obliczyć energię, jaką dostarczają próżni same cząstki wirtualne, nie mamy co odejmować i wynik dąży do nieskończoności.

Nieskończoność to nie jest przyjemna wielkość, przynajmniej gdy chodzi o fizykę, i staramy się jej unikać, jeśli tylko to możliwe. Oczywiście energia pustej przestrzeni (ani niczego innego) z fizycznego punktu widzenia nie może być nieskończona, dlatego musimy znaleźć jakiś sposób na wykonanie obliczeń i otrzymanie wyniku, który będzie skończony.

Źródło nieskończoności łatwo odnaleźć. Gdy rozpatrzymy wszystkie możliwe cząstki wirtualne, jakie mogłyby się pojawić, z zasady nieoznaczoności Heisenberga (która, jak przypominam, głosi, że nieoznaczoność w pomiarze energii układu jest odwrotnie proporcjonalna do czasu obserwacji) wynika, że cząstki mające coraz większą energię mogą spontanicznie pojawiać się z niczego, jeżeli tylko zanikają w coraz krótszych przedziałach czasu. W zasadzie mogą mieć prawie nieskończoną energię, jeśli tylko znikają w infinitezymalnie krótkich przedziałach czasu.

Jednak znane nam prawa fizyki stosują się do odległości i czasów większych niż pewna określona wielkość, odpowiadająca bardzo małej skali, w której – by zrozumieć grawitację – trzeba uwzględnić wpływ efektów kwantowych (i ich wpływ na czasoprzestrzeń). Dopóki nie mamy teorii „kwantowej grawitacji", dopóty nie możemy polegać na ekstrapolacjach wykraczających poza te granice.

Dlatego możemy mieć nadzieję, że nowa fizyka związana z kwantową grawitacją usunie w jakiś sposób wpływ cząstek żyjących krócej niż tak zwany czas Plancka. Następnie obliczając skumulowany efekt cząstek wirtualnych o energiach równych owej redukcji lub mniejszych, powinniśmy otrzymać skończony ich wkład energetyczny do nicości.

Znów pojawia się pewien problem. Oszacowania te dają wkład około 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 większy niż energia związana z całą znaną materią we Wszechświecie, łącznie nawet z ciemną materią!

O ile dzięki cząstkom wirtualnym obliczenia rozszczepienia poziomów atomowych uchodzą za najlepsze w całej fizyce, o tyle oszacowanie energii pustej przestrzeni – 120 rzędów większe niż energia wszystkiego we Wszechświecie – jest bez wątpienia najgorsze! Gdyby energia pustej przestrzeni wynosiła mniej więcej tyle, to siła odpychająca przez nią wytworzona (pamiętajmy, że energia pustej przestrzeni odpowiada stałej kosmologicznej) byłaby na tyle duża, aby natychmiast rozsadzić Ziemię. Co najważniejsze, byłaby tak wielka na samym początku czasu, a zatem wszystko, co dzisiaj widzimy w naszym Wszechświecie, po Wielkim Wybuchu zostałoby w ułamku sekundy wypchnięte tak szybko, że nie powstałaby żadna struktura, żadna gwiazda, żadna planeta ani ludzie.

Ten problem, zwany problemem stałej kosmologicznej, znany był znacznie wcześniej, niż zrobiłem magisterium. Po raz pierwszy został sformułowany przez rosyjskiego kosmologa Jakowa Zeldowicza gdzieś około roku 1967. Pozostaje nadal nierozstrzygnięty

i prawdopodobnie jest najbardziej fundamentalnym problemem współczesnej fizyki.

Pomimo że pozostaje on nierozwiązany od ponad czterdziestu lat, my, fizycy teoretycy, wiemy, jaki powinien być wynik. Podobnie jak czwartoklasista, który odpowiedziałby, że energia pustej przestrzeni musi wynosić zero, my także mamy nadzieję, że teoria ostateczna wyjaśni, jak powinny się znosić wkłady różnych cząstek wirtualnych, tak aby pusta przestrzeń pozostała z energią dokładnie równą zeru. Albo z niczym. Albo raczej Niczym.

Nasze rozumowanie jest lepsze niż czwartoklasisty albo tak tylko nam się zdaje. Musimy zredukować ogromną wielkość energii pustej przestrzeni z iście gargantuicznej wielkości, jaką sugerują naiwne oszacowania, do takiej, która będzie zgodna z górną granicą wyznaczoną za pomocą obserwacji. Będzie to wymagać jakiegoś sposobu, aby odjąć od ogromnie wielkiej dodatniej liczby inną ogromnie wielką liczbę, tak aby obie znosiły się na 120 miejscach dziesiętnych, a na 121 miejscu pozostało coś różnego od zera! W historii nauki nie odnotowano takiego precedensu, aby odejmowanie tak ogromnych liczb z taką dokładnością dało w rezultacie coś tak małego.

Jednak zero to liczba, którą łatwo otrzymać. Symetrie występujące w naturze często pozwalają na wykazanie, że w obliczeniach istnieją idealnie równe wkłady, ale o przeciwnych znakach, dokładnie się znoszące, niepozostawiające nic. Albo, znowu, Nic.

W taki oto sposób my, teoretycy, możemy się odprężyć i spać spokojnie w nocy. Nie wiemy, jak to zrobić, ale jesteśmy pewni, jaki powinien być wynik końcowy.

Tymczasem natura miała co innego na myśli.

# Rozdział 5

# Uciekający wszechświat

*Myślenie obecnie o pochodzeniu życia to po prostu bzdury; można równie dobrze myśleć o pochodzeniu materii.*

Karol Darwin

To, co Michael Turner i ja uzasadnialiśmy w 1995 roku, było ekstremalną herezją. Opierając się prawie wyłącznie na teoretycznym założeniu, przyjęliśmy, że Wszechświat jest płaski. (Pragnę tu jeszcze raz podkreślić, że „płaski" trójwymiarowy wszechświat nie jest płaski jak stół, lecz stanowi trójwymiarową przestrzeń, taką, jak sobie wszyscy wyobrażają, w której promienie świetlne rozchodzą się po liniach prostych. To przeciwieństwo czegoś, co znacznie trudniej sobie wyobrazić – zakrzywionej trójwymiarowej przestrzeni, w której promienie świetlne nie rozchodzą się po liniach prostych). Potem doszliśmy do wniosku, że wszystkie dostępne dane kosmologiczne będą zgodne z założeniem płaskości Wszechświata, jeśli tylko około 30 procent całkowitej energii związane jest z „ciemną materią", która – jak się wydawało zgodnie z obserwacjami – istniała wewnątrz galaktyk i wokół nich, ale co znacznie bardziej dziwne, pozostałe 70 procent energii Wszechświata nie powinno być związane z żadną formą materii, lecz raczej zawarte w pustej przestrzeni.

Jakkolwiek by na to patrzeć, nasz pomysł był szalony. Aby stała kosmologiczna była zgodna z naszym założeniem, oszacowana ilość energii z poprzedniego rozdziału powinna w jakiś sposób być

zredukowana o 120 rzędów wielkości, i do tego nie być dokładnie równa zeru. Wymagałoby to najbardziej doskonałego w naturze dopasowania wielkości fizycznej, a poza tym nie mieliśmy pomysłu, jak coś takiego wykonać.

Gdy na wykładach na różnych uniwersytetach wspominałem o tych rozterkach z płaskim Wszechświatem, była to jedna z przyczyn krzywych uśmiechów. Myślę, że niewielu potraktowało serio naszą propozycję, nawet my sami nie byliśmy tego pewni. Naszą pracą chcieliśmy zilustrować graficznie to, co zaświtało nam w głowach, ale nie tylko nam, także wielu kolegom teoretykom rozrzuconym po całym świecie. Coś było nie tak w „standardowym" w owym czasie obrazie Wszechświata, jeśli prawie cała energia wymagana zgodnie z teorią względności, dzięki której obecnie jest on płaski, musiała być związana z egzotyczną ciemną materią (ze szczyptą barionów – tj. Ziemian, gwiazd, widocznych galaktyk – dla smaku).

Kolega przypomniał mi niedawno, że przez dwa lata po naszej skromnej propozycji pojawiła się zaledwie garstka odniesień do niej w pracach innych autorów, w tym jedno lub dwa w mojej publikacji lub Turnera! Społeczność naukowa była skonsternowana i nie wierzyła, że Wszechświat może być tak szalony, jak ja i Turner chcieliśmy wykazać.

Najprostszym alternatywnym wyjściem umożliwiającym usunięcie sprzeczności było założenie, że Wszechświat jest otwarty, a nie płaski (czyli taki, w którym dzisiaj równoległe promienie światła zakrzywią się, jeśli będziemy podążać po ich trajektorii w czasie wstecz. To założenie pojawiło się, zanim badania mikrofalowego promieniowania tła wykluczyły taką możliwość). Chociaż nawet i tutaj były pewne problemy, a sytuacja w dużej mierze wydawała się niejasna.

Każdy uczeń szkoły średniej na lekcji fizyki ochoczo powie, że grawitacja jest powszechnie przyciągająca. Oczywiście, jak wiele razy w nauce, teraz zdajemy sobie sprawę, że musimy rozszerzyć swe horyzonty, bo natura okazuje się od nas bardziej pomysłowa. Jeśli na chwilę założymy, że przyciągająca grawitacja spowalnia ekspansję Wszechświata, to przypomnijmy sobie, że uzyskaliśmy górną granicę wieku Wszechświata dzięki założeniu, iż prędkość galaktyki

znajdującej się w określonej odległości od nas jest stała od czasu Wielkiego Wybuchu. Tak się dzieje, jeśli bowiem Wszechświat spowalnia ekspansję, to galaktyka kiedyś oddalała się od nas szybciej, niż oddala się teraz. I mniej czasu jej zajęło dotarcie do dzisiejszego położenia, niż gdyby stale poruszała się z obecną prędkością. W otwartym wszechświecie zdominowanym przez materię spowolnienie byłoby mniejsze niż w płaskim i dlatego obliczony wiek wszechświata, dla tego samego obecnie mierzonego tempa ekspansji, byłby większy niż obliczony dla płaskiego wszechświata zdominowanego przez materię. Byłby faktycznie znacznie bliższy wartości, jaką otrzymujemy przy założeniu stałego tempa ekspansji w kosmicznej skali czasu.

Pamiętajmy, że niezerowa energia pustej przestrzeni to stała kosmologiczna – grawitacyjne odpychanie – powodująca, że w kosmicznej skali czasu ekspansja Wszechświata zwiększałaby swe tempo i w rezultacie we wcześniejszych epokach galaktyki rozbiegałyby się względem siebie wolniej, niż robią to dzisiaj. Powodowałoby to, że osiągnięcie ich obecnej odległości trwałoby dłużej niż w trakcie ekspansji w stałym tempie. Rzeczywiście, uwzględniając stałą kosmologiczną oraz zmierzoną ilość widocznej materii, także ciemnej materii i obecnie zmierzoną stałą Hubble'a, możemy oszacować największy możliwy wiek Wszechświata na około 20 miliardów lat.

W 1996 roku wraz z Brianem Chaboyerem, Pierre'em Demarque z Uniwersytetu Yale i stypendystą po doktoracie Peterem Kernanem z Uniwersytetu Case Western Reserve ustaliliśmy dolną granicę wieku najstarszych gwiazd w naszej Galaktyce na 12 miliardów lat. Dokonaliśmy tego dzięki stworzeniu na szybkich komputerach modelu ewolucji milionów różnych gwiazd i porównaniu ich kolorów i jasności z obserwowanymi obecnie gwiazdami w gromadach kulistych, które od dawna były uważane za jedne z najstarszych obiektów w naszej Galaktyce. Przy założeniu, że nasza Galaktyka formowała się w ciągu miliarda lat, ta dolna granica wykluczyła wszechświat płaski zdominowany przez materię i faworyzowała taki, który ma stałą kosmologiczną (to jeden z czynników, który zaważył na wnioskach we wcześniejszej pracy z Turnerem), natomiast

wszechświat otwarty niebezpiecznie chwiał się nad krawędzią realności.

Jednak ustalanie wieku najstarszych gwiazd bazowało na wynikach badań dokonywanych na granicy dokładności ówczesnych przyrządów i w 1997 roku ukazały się nowe dane obserwacyjne zmuszające nas do korekcji oszacowania w dół o jakieś dwa miliardy lat, co skutkowało tym, że Wszechświat stawał się nieco młodszy. Tak więc sytuacja się komplikowała i znów wszystkie trzy kosmologie okazały się realne, zmuszając wielu z nas do powrotu do tablicy.

Wszystko zmieniło się w 1998 roku, zupełnie przypadkowo, wtedy gdy eksperyment BOOMERANG dowiódł płaskości Wszechświata.

W ciągu siedemdziesięciu lat, odkąd Edwin Hubble zmierzył tempo ekspansji Wszechświata, astronomowie ciężko pracowali, aby uzyskać coraz bardziej dokładną wartość tego tempa. Przypomnijmy, że w latach dziewięćdziesiątych XX wieku udało się im znaleźć „świecę standardową" – to znaczy taki obiekt, o znanej skądinąd jasności absolutnej, którego jasność obserwowana umożliwia ustalenie, w jakiej znajduje się od nas odległości. Świece standardowe wydawały się niezawodne i można je było obserwować w czeluściach przestrzeni i czasu.

Analiza pewnego typu eksplodujących gwiazd zwanych supernowymi Ia wykazała związek między ich jasnością a czasem życia. Po raz pierwszy pomiar czasu błyszczenia supernowej wymagał uwzględnienia efektu dylatacji czasu związanego z ekspansją Wszechświata, okazuje się bowiem, że ten czas jest w rzeczywistości dłuższy niż czas błyszczenia w układzie będącym w spoczynku. Niemniej jednak możemy obliczyć jej jasność absolutną, a za pomocą teleskopu ustalić jasność obserwowaną i zmierzyć odległość do galaktyki, w której eksplodowała. Pomiar przesunięcia ku czerwieni w widmie galaktyki pozwala wyznaczyć jej prędkość. Łącząc oba wyniki, poznajemy, z coraz większą precyzją, tempo ekspansji Wszechświata.

Ze względu na swą jasność supernowe są nie tylko wspaniałym narzędziem do pomiaru stałej Hubble'a, lecz także umożliwiają spoglądanie wstecz do chwil tuż po powstaniu Wszechświata.

Powstały zatem nowe fascynujące możliwości, które ukazały astronomom zupełnie nowy kierunek badań – pomiary mające na celu ustalenie, jak stała Hubble'a zmieniała się w kosmicznej skali czasu.

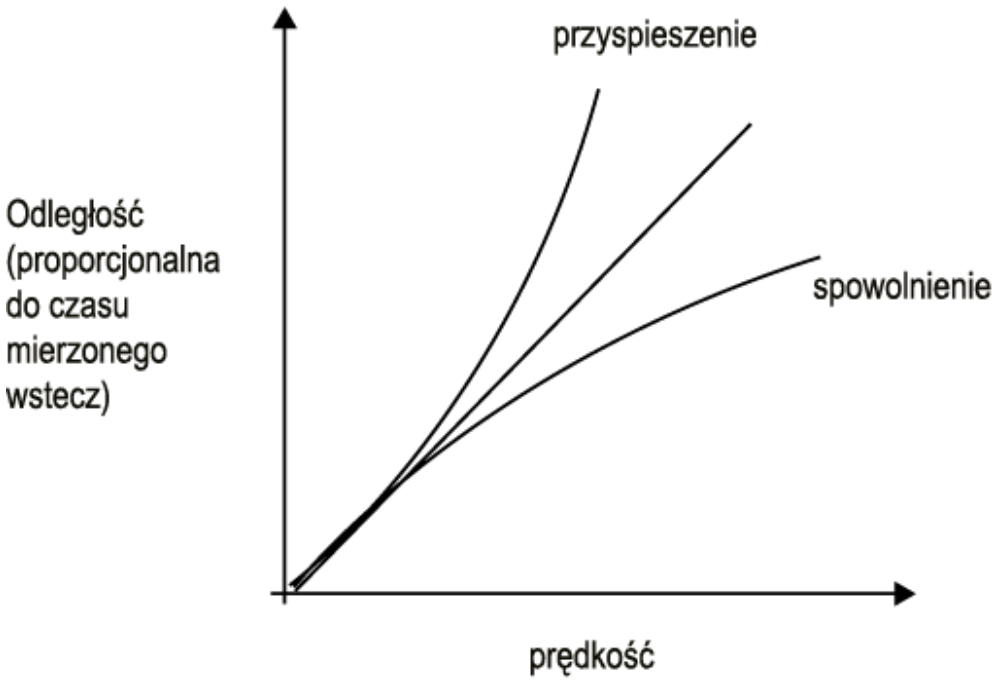
Określenie: pomiar, jak zmienia się stała Hubble'a, może wydawać się oksymoronem, i z pewnością byłby nim, gdyby nie to, że nasze ludzkie życie jest tak krótkie, przynajmniej w skali kosmicznej. W skali ludzkiego życia tempo ekspansji Wszechświata pozostaje rzeczywiście stałe. Jednak, jak już o tym pisałem, będzie ono zmieniać się w kosmicznej skali czasu ze względu na wpływ grawitacji.

Astronomowie dowodzili, że jeśli będą mogli zmierzyć szybkość i odległość najdalszych supernowych – w najdalszych głębiach widocznej części Wszechświata – to uda im się wyznaczyć tempo, w jakim ekspansja spowalniała (ponieważ wszyscy założyli, że Wszechświat jest zbudowany rozsądnie i dominującą siłą grawitacyjną było przyciąganie). To z kolei, jak mieli nadzieję, pozwoli im ustalić, czy Wszechświat był otwarty, zamknięty czy płaski, ponieważ tempo spowalniania w funkcji czasu jest różne dla każdej z tych geometrii.

W 1996 roku spędziłem sześć tygodni w Laboratorium imienia Lawrence'a w Berkeley, gdzie miałem wykłady z kosmologii i dyskutowałem o różnych projektach naukowych z kolegami tam zatrudnionymi. Wygłosiłem także wykład o naszym wniosku, że energia może być zawarta w pustej przestrzeni. Po wykładzie Saul Perlmutter, młody fizyk, który pracował w zespole poszukującym odległych supernowych, podszedł do mnie i powiedział: „Dowiedziemy, że się mylisz!".

Saul miał na myśli ten wniosek, że płaski wszechświat musi mieć 70 procent energii skumulowanej w pustej przestrzeni. Przypomnijmy, że taka energia jest równoważna stałej kosmologicznej, prowadzącej do powstania w całej przestrzeni siły odpychającej dominującej w procesie ekspansji wszechświata i powodującej, że wszechświat będzie *przyspieszał* ekspansję, a nie ją zwalniał.

Jak już pisałem, jeśli ekspansja będzie zwiększać swe tempo w kosmicznej skali czasu, to Wszechświat będzie starszy w porównaniu z wiekiem szacowanym na podstawie ekspansji spowolnionej. To z kolei prowadzi do wniosku, że wiek galaktyk o ustalonym przesunięciu ku czerwieni byłby większy niż w odwrotnym wypadku. Z kolei gdyby oddalały się one od nas przez czas dłuższy, oznaczałoby, że światło od nich pochodzące powstało znacznie dalej. Supernowe w galaktykach o zmierzonym przesunięciu ku czerwieni wydawałyby się ciemniejsze, niż gdyby światło powstało znacznie bliżej. Krótko mówiąc, gdyby ktoś mierzył prędkość w funkcji odległości, to nachylenie krzywej dla względnie bliskich galaktyk pozwalałoby na wyznaczenie obecnego tempa ekspansji, a z kolei dzięki temu, że krzywa dla odległych supernowych odgina się w górę lub w dół, moglibyśmy się dowiedzieć, czy Wszechświat w kosmicznej skali czasu przyspieszał ekspansję czy ją zwalniał.




Dwa lata po naszym spotkaniu Saul i jego współpracownicy, stanowiący część międzynarodowego zespołu Supernova Cosmology Project, opublikowali pracę opartą na wczesnych i bardzo wstępnych danych, które sugerowały, że rzeczywiście się myliliśmy. (W istocie

nie dowodzili, że Turner i ja myliliśmy się, jak bowiem większość innych astronomów nie dali wiary naszym propozycjom). Ich dane sugerowały, że wykres odległości w funkcji przesunięcia ku czerwieni zakrzywiał się w dół i stąd wniosek, że górna granica wielkości energii pustej przestrzeni musi być znacznie niższa niż to, co byłoby wymagane, aby obecnie stanowiła istotny składnik energii całkowitej.

Jednak, jak często się zdarza, pierwsze wstępne dane mogą nie być reprezentatywne dla danych ostatecznych – na początku może pojawić się błąd statystyczny albo błąd systematyczny wykryty później, gdy dysponuje się znacznie większym zbiorem danych. Tak właśnie stało się z danymi z Supernova Cosmology Project i dlatego wnioski były błędne.

Inny międzynarodowy program poszukiwania supernowych High-Z Supernova Search Team, kierowany przez Briana Schmidta w obserwatorium Mount Stromlo w Australii, zajmował się tym samym zagadnieniem i otrzymywał odmienne dane. Brian niedawno powiedział mi, że gdy wpłynęły pierwsze dane sugerujące Wszechświat rozszerzający się i mający znaczną energię próżni, to zmniejszono im przydział czasu pracy teleskopu, a czasopismo, w którym chcieli opublikować wyniki, poinformowało ich, że muszą się mylić, ponieważ grupa z Supernova Cosmology Project stwierdziła już, że Wszechświat jest na pewno płaski i zdominowany przez materię.

Wielokrotnie jeszcze będzie się powtarzać tę historię rywalizacji między obu grupami, zwłaszcza gdy podzielą między siebie Nagrodę Nobla, której niewątpliwie pragną[2]. To nie miejsce, by decydować o pierwszeństwie. Wystarczy powiedzieć, że na początku 1998 roku grupa Schmidta opublikowała artykuł wykazujący, że Wszechświat przyspiesza ekspansję. Prawie sześć miesięcy później zespół Perlmuttera zaanonsował podobne rezultaty i wydał pracę potwierdzającą wynik konkurentów, jednocześnie przyznając się do wcześniejszego błędu – i uwiarygodniając hipotezę Wszechświata zdominowanego przez energię pustej przestrzeni albo, jak to się obecnie powszechnie nazywa, ciemną energię.

2 W istocie, gdy oddawałem książkę do druku, dowiedziałem się, że Saul i Brian razem z Adamem Riessem, który był członkiem zespołu High-Z Supernova, otrzymali wspólnie za swe odkrycie Nagrodę Nobla z fizyki za 2011 rok.

Szybkość, z jaką te rezultaty zostały przyjęte przez społeczność naukową – choć wymagały one zrewidowania zaakceptowanego już obrazu Wszechświata – może stanowić niezwykle interesujący przypadek w socjologii nauki. Prawie z dnia na dzień pojawiła się powszechna akceptacja dla tych wyników, chociaż jak mawiał Carl Sagan, „nadzwyczajne twierdzenia wymagają nadzwyczajnych dowodów". Rzeczywiście było to niezwykłe odkrycie.

Byłem zszokowany, gdy w grudniu 1998 roku „Science" nazwało odkrycie Wszechświata przyspieszającego ekspansję przełomowym naukowym odkryciem roku i na swej stronie tytułowej zamieściło podobiznę zdumionego Einsteina.

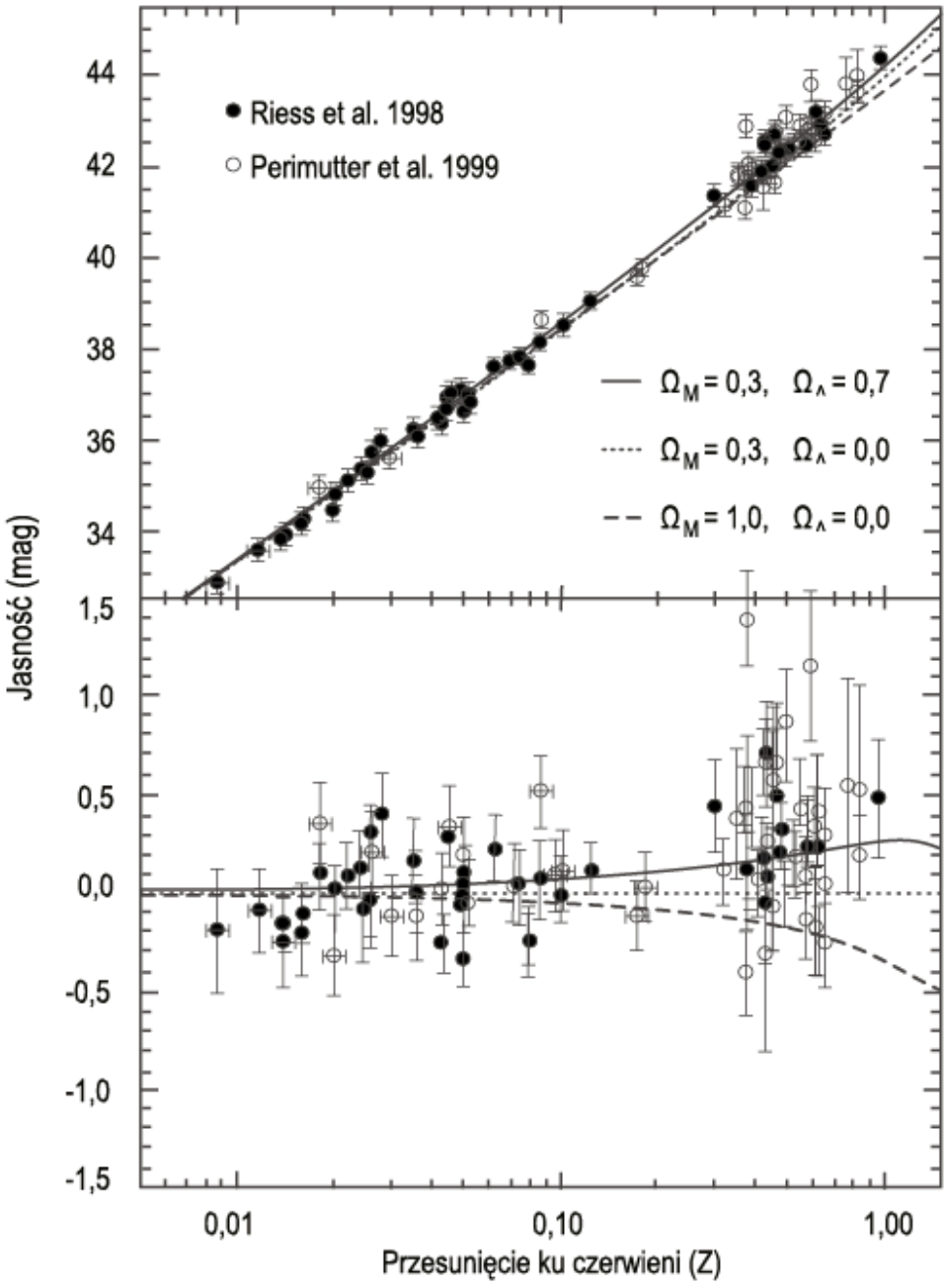
Nie mówię, że nie było ono warte tej okładki. Całkiem odwrotnie. Jeśli taka jest prawda, to było to jedno z najważniejszych odkryć astronomicznych naszych czasów, ale w tamtym okresie dane tylko mocno sugerowały taką możliwość. Ich wymowa tak bardzo zmieniała nasz obraz Wszechświata, że czułem, iż musimy być bardziej pewni, że odrzuciliśmy definitywnie inne możliwe przyczyny powodujące te efekty, zanim ktokolwiek postawi całą pulę na stałą kosmologiczną. Powiedziałem wtedy jednemu dziennikarzowi: „Po raz pierwszy przestałem wierzyć w stałą kosmologiczną, kiedy astronomowie ogłosili jej odkrycie”.

Moja reakcja z sileniem się na dowcip może wydawać się dziwna, biorąc pod uwagę fakt, że od dziesięciu lat starałem się ten pomysł

promować w taki lub inny sposób. Jako teoretyk uważam przewidywania za rzecz bardzo potrzebną, zwłaszcza wtedy gdy sprzyjają one możliwościom dokonywania nowych eksperymentów. Natomiast wierzę w konserwatyzm, gdy badam dane doświadczalne, może dlatego że osiągnąłem wiek dojrzałości naukowej w okresie, gdy tak wiele nowych i ekscytujących twierdzeń fizyki cząstek elementarnych okazało się błędnych. Odkrycia, poczynając od piątej fundamentalnej siły natury, a kończąc na nowych cząstkach elementarnych związanych z – jak sądzono – obracaniem się naszego Wszechświata jako całości, pojawiały się i ginęły w pomroce dziejów, robiąc wiele szumu.

Największe zaniepokojenie budziło to, gdy ogłaszano odkrycie przyspieszającego Wszechświata, że odległe supernowe mogą wydawać się ciemniejsze, niż oczekiwano, nie z powodu przyspieszonej ekspansji, ale dlatego, że po prostu (a) w istocie *są* ciemniejsze, albo (b) jakiś międzygalaktyczny lub galaktyczny pył obecny we wcześniejszych momentach częściowo je przesłonił.

W ciągu minionych dziesięciu lat okazało się jednak, iż dowody na przyspieszanie tempa ekspansji stały się tak silne, że prawie niepodważalne. Przede wszystkim zmierzono znacznie więcej supernowych z dużym przesunięciem ku czerwieni. Z łącznej analizy supernowych wykonanej przez oba zespoły w ciągu roku od pierwszej publikacji otrzymano następujący wykres.




Aby lepiej można było zobaczyć, czy krzywa odległości w funkcji przesunięcia ku czerwieni zagina się ku górze czy ku dołowi, astronomowie wykreślili kropkowaną linię prostą w górnej połówce rysunku, od dołu z lewej strony ku prawej stronie u góry. Nachylenie tej linii określa obecne tempo ekspansji. W dolnej połówce rysunku tę samą linię można zobaczyć leżącą horyzontalnie, też dla ułatwienia obserwacji danych. Gdyby Wszechświat zwalniał swą

ekspansję, jak oczekiwano w 1998 roku, odległe supernowe z przesunięciem ku czerwieni (Z) bliskim 1 znalazłyby się poniżej linii prostej. Jak jednak można zauważyć, większość z nich układa się powyżej niej. Jest to spowodowane jedną z dwóch przyczyn:

1. dane są błędne albo
2. ekspansja Wszechświata *jest* przyspieszona.

Jeśli przyjmiemy na chwilę drugą możliwość i spytamy: „jak wiele energii musimy włożyć do pustej przestrzeni, aby otrzymać obserwowane przyspieszenie ekspansji?", to otrzymana odpowiedź jest niezwykła. Krzywa ciągła, która reprezentuje najlepsze dopasowanie danych, odpowiada wszechświatowi płaskiemu z 30 procentami energii zawartej w materii i 70 procentami energii pustej przestrzeni. O dziwo, to akurat tyle, ile trzeba, aby w płaskim wszechświecie 30 procent wymaganej masy znajdowało się w galaktykach i gromadach galaktyk oraz wokół nich. Osiągnięto jawną zgodność.

Ponieważ jednak teza, że 99 procent wszechświata jest niewidoczne, pasuje do kategorii nadzwyczajnych twierdzeń (1 procent widzialnej materii zanurzony w morzu materii ciemnej, otoczony przez energię zawartą w pustej przestrzeni), powinniśmy poważnie rozważyć pierwszą z możliwości, jaką wypunktowałem powyżej, tę mówiącą o błędnych danych. Przez ostatnie dziesięć lat wszystkie pozostałe dane kosmologiczne dalej ugruntowywały ogólnie zaaprobowany niedorzeczny pomysł, płaski wszechświat z dominującą energią zawartą w pustej przestrzeni, w którym wszystko, co widzimy, odpowiada mniej niż procentowi całkowitej energii, z materią, której nie widzimy, zbudowaną głównie z jakichś jeszcze dotąd nieznanych cząstek elementarnych nowego typu.

Najpierw, gdy nowo wystrzelone satelity zaczęły dostarczać informacje o obfitości pierwiastków w gwiazdach starych, otrzymaliśmy dokładniejsze dane dotyczące ewolucji gwiazd. Dzięki tym danym ja i mój kolega Chaboyer mogliśmy w 2005 roku wykazać, że niepewność w oszacowaniu wieku Wszechświata na ich

podstawie jest teraz tak mała, iż można wyeliminować wiek krótszy niż 11 miliardów lat. Nie było to zgodne z każdym modelem wszechświata, w którym pusta przestrzeń nie zawiera ogromnej ilości energii. Co więcej, ponieważ nie jesteśmy pewni, czy ta energia jest tam z powodu stałej kosmologicznej, teraz nazywa się ją prościej „ciemną energią", analogicznie do „ciemnej materii", która zdominowała galaktyki.

To oszacowanie wieku naszego Wszechświata zostało znacznie poprawione w 2006 roku, gdy bardziej precyzyjne pomiary mikrofalowego promieniowania tła za pomocą satelity WMAP pozwoliły astronomom ustalić, jaki czas upłynął od Wielkiego Wybuchu. Teraz znamy ów wiek z dokładnością do czterech cyfr znaczących. Wynosi on 13,72 miliarda lat!

Nie przypuszczałem, że w ciągu mego życia osiągniemy tak wielką dokładność. Ale skoro już się to udało, możemy potwierdzić, że nie ma takiej możliwości, aby wszechświat o takim tempie ekspansji, jak zmierzona obecnie, mógł być tak stary bez ciemnej energii, a szczególnie tej, która ma własności energii reprezentującej stałą kosmologiczną. Mówiąc innymi słowy – jest to energia, która wydaje się pozostawać stała w kosmicznej skali czasu.

Następny przełom naukowy polegał na tym, że astronomowie zmierzyli dokładnie, jak w kosmicznej skali czasu materia skupiała się w galaktyki. Rezultat zależy od tempa ekspansji Wszechświata, ponieważ przyciągająca siła grawitacyjna, która usiłowała skupiać ze sobą galaktyki, musiała przezwyciężać kosmiczną ekspansję starającą się rozproszyć materię w przestrzeni. Im większa energia jest zawarta w pustej przestrzeni, tym wcześniej w kosmicznej skali czasu zdominuje ona energię Wszechświata i tym wcześniej, w kosmicznej skali czasu, wzrastające tempo ekspansji zatrzyma kolaps grawitacyjny materii.

Dzięki pomiarom grawitacyjnego grupowania się materii astronomowie mogli jeszcze raz potwierdzić, że tylko model płaskiego wszechświata odpowiada obserwowanym strukturom kosmicznym i tylko on zawiera około 70 procent ciemnej energii, a energia ta ma takie własności, jakie powinna posiadać energia związana ze stałą kosmologiczną.

Niezależnie od tych pośrednich badań historii ekspansji Wszechświata astronomowie zajmujący się supernowymi bardzo dokładnie zanalizowali zakłócenia, które mogłyby wpłynąć na powstanie błędów systematycznych w analizie danych, w tym możliwość pojawienia się w dużej odległości pyłu mogącego przyciemniać blask supernowej. Wszystkie tego typu przeszkody zostały wykluczone.

Jeden z najważniejszych testów polegał na zbadaniu ewolucji odwróconej w czasie.

We wcześniejszej historii Wszechświata, gdy nasz obserwowalny region miał znacznie mniejsze rozmiary, gęstość materii była o wiele większa. Jednak gęstość energii pustej przestrzeni, jeśli ma ona związek ze stałą kosmologiczną – albo czymś podobnym, pozostaje taka sama w miarę upływu czasu. Dlatego gdy Wszechświat miał rozmiary o połowę mniejsze niż obecnie, gęstość energii zmagazynowana w materii mogła być większa niż gęstość energii pustej przestrzeni. Zatem przez ten cały czas to materia, a nie pusta przestrzeń, powinna była wytwarzać dominującą siłę grawitacyjną sterującą ekspansją Wszechświata. W rezultacie w tamtym okresie swej historii Wszechświat powinien był podlegać ekspansji spowalnianej.

W mechanice klasycznej istnieje taki punkt, zwany punktem „szarpnięcia”[3], w którym układ zmienia stan ruchu zmiennego, w szczególności może przejść od opóźnienia do przyspieszenia. W 2003 roku zorganizowałem na moim uniwersytecie konferencję o przyszłości kosmologii i zaprosiłem jednego z członków zespołu High-Z Supernova, Adama Riessa, który wcześniej zapowiedział mi, że chciałby powiedzieć o czymś bardzo ważnym podczas tego spotkania. I tak się stało. Następnego dnia „New York Times” zamieścił reportaż z konferencji, a w nim fotografię Adama z nagłówkiem *Cosmic jerk discovered*. Zachowałem to zdjęcie i od czasu do czasu wracam do niego z rozbawieniem[4].

3 Ang. *jerk* (przyp. tłum.).

4 Chodzi tutaj o grę słów. *Jerk* można tłumaczyć jako szarpnięcie albo jako wyrażenie potoczne – dupek. Nagłówek w „New York Timesie” może zatem oznaczać: (1) „odkryto kosmiczne szarpnięcie” albo (2) „odkryto kosmicznego dupka” (przyp. tłum.).

Szczegółowe odwzorowanie historii ekspansji Wszechświata, wykazujące, że przeszedł on z fazy opóźnianej do fazy przyspieszonej ekspansji, wzmocniło twierdzenie o tym, iż oryginalne obserwacje, które sugerowały istnienie ciemnej energii, były w istocie poprawne. Trudno sobie wyobrazić, aby razem ze wszystkimi dowodami obecnie dostępnymi ten obraz naprowadzał nas na fałszywy ślad. Czy wam się to podoba, czy nie, wydaje się, że ciemna energia tutaj jest, albo przynajmniej pozostaje, dopóki nie zmieni się w jakiś sposób.

Źródła i natura ciemnej energii bez wątpienia są największymi zagadkami fizyki współczesnej. Nie rozumiemy, jak powstała i dlaczego jest jej tyle, ile jest. Zupełnie nie mamy pojęcia, dlaczego przejęła ster nad ekspansją Wszechświata i dlaczego nastąpiło to względnie niedawno, jakieś pięć miliardów lat temu. Nie wiemy, czy to zdarzenie jest zakończone. Można przypuszczać, że w jakiś sposób związane jest z początkiem Wszechświata. A wszystkie znaki wskazują, że to będzie miało także wpływ na jego przyszłość.

# Rozdział 6

# Darmowy obiad na końcu Wszechświata

*Kosmos jest wielki, naprawdę wielki. Nie uwierzylibyście, jak wściekle, nieprawdopodobnie, obłędnie wielki. To znaczy może się wam wydawać, że od waszego domu do drogerii jest daleko, ale to absolutnie nic w porównaniu z kosmosem.*

Douglas Adams, *Autostopem przez Galaktykę* (przeł. A. Banaszak)

My, kosmolodzy, przypuszczaliśmy, jak się okazało poprawnie, że Wszechświat jest płaski, dlatego nie byliśmy aż tak zakłopotani wstrząsającą informacją, że pusta przestrzeń rzeczywiście ma energię – i w istocie wystarczająco wielką, aby zdominować ekspansję Wszechświata. Nieprzekonujące było istnienie tej energii, ale jeszcze bardziej dziwne wydawało się stwierdzenie, że jej wielkość jest zbyt mała, by spowodować, iż Wszechświat stanie się miejscem nienadającym się do istnienia w nim życia. Bo gdyby wielkość energii pustej przestrzeni była tak wielka, jak jej aprioryczne oszacowanie, które opisałem wcześniej, to tempo ekspansji wzrosłoby do tego stopnia, że wszystko, co dzisiaj możemy obserwować we Wszechświecie, powędrowałoby bardzo szybko poza horyzont kosmiczny. Wszechświat stałby się zimny, ciemny i pusty na długo, zanim uformowałyby się gwiazdy, nasze Słońce i Ziemia.

Ze wszystkich powodów, aby przypuszczać, iż Wszechświat jest jednak płaski, być może najprostszy do zrozumienia jest taki, że powszechnie był uważany za prawie płaski. Nawet wcześniej, zanim odkryto ciemną materię, poznana ilość widzialnej materii

w galaktykach i wokół nich odpowiadała być może jednemu procentowi materii – wartości wymaganej, aby wytworzyć płaski wszechświat.

Jeden procent to może wydawać się niewiele, ale nasz Wszechświat jest bardzo stary, jego wiek wyraża się w miliardach lat. Jeśli założymy, że grawitacyjny wpływ materii i promieniowania zdominował ewolucję ekspansji, czyli tak jak my, fizycy, zawsze sądziliśmy, to gdyby Wszechświat nie był płaski, idealnie płaski, w czasie ekspansji stawałby się coraz bardziej zakrzywiony.

Jeśli byłby otwarty, to tempo ekspansji byłoby znacznie większe niż dla płaskiego wszechświata i ekspansja rozrzucałaby materię coraz dalej i dalej od siebie w porównaniu z tym, co zachodziłoby w płaskim wszechświecie. Następowałoby zmniejszanie gęstości materii i bardzo szybko stałaby się ona infinitezymalnym ułamkiem tej, jaka jest wymagana do utworzenia wszechświata płaskiego.

Gdyby natomiast był zamknięty, to tempo ekspansji szybko by zwalniało i w końcu wszechświat ponownie zapadałby się grawitacyjnie w sobie. Przez cały czas gęstość materii najpierw zmniejsza się, ale wolniej niż w wypadku wszechświata płaskiego, a potem zwiększa w fazie zapadania. I jeszcze raz odstępstwo od gęstości oczekiwanej dla płaskiego wszechświata wzrasta wraz z czasem.

Od pierwszej sekundy życia Wszechświat zwiększył swą wielkość o czynnik równy bilionowi. Jeśli w tym najwcześniejszym momencie gęstość nie była dokładnie równa tej, jaka wymagana była dla płaskiego wszechświata, powiedzmy, wynosiła tylko jej 10 procent, to dzisiaj gęstość Wszechświata odróżniałaby się od gęstości płaskiego wszechświata co najmniej o czynnik równy bilionowi. To znacznie więcej niż czynnik 100 odróżniający gęstość materii dzisiaj widocznej od tej, jaka jest obecnie wymagana dla płaskości wszechświata.

O tym problemie wiedziano już w latach siedemdziesiątych XX wieku i nazwano go problemem płaskości. Geometrię wszechświata można porównać do postawionego na swym zaostrzonym końcu ołówka, który przewróci się przy najmniejszym zachwianiu równowagi. Podobnie jest z płaskim wszechświatem. Najmniejsze

odstępstwo od płaskości szybko będzie się powiększać. W takim razie w jaki sposób Wszechświat miałby być obecnie bliski płaskości, gdyby nie był właśnie płaski?

Odpowiedź jest prosta: w istocie obecnie musi być płaski!

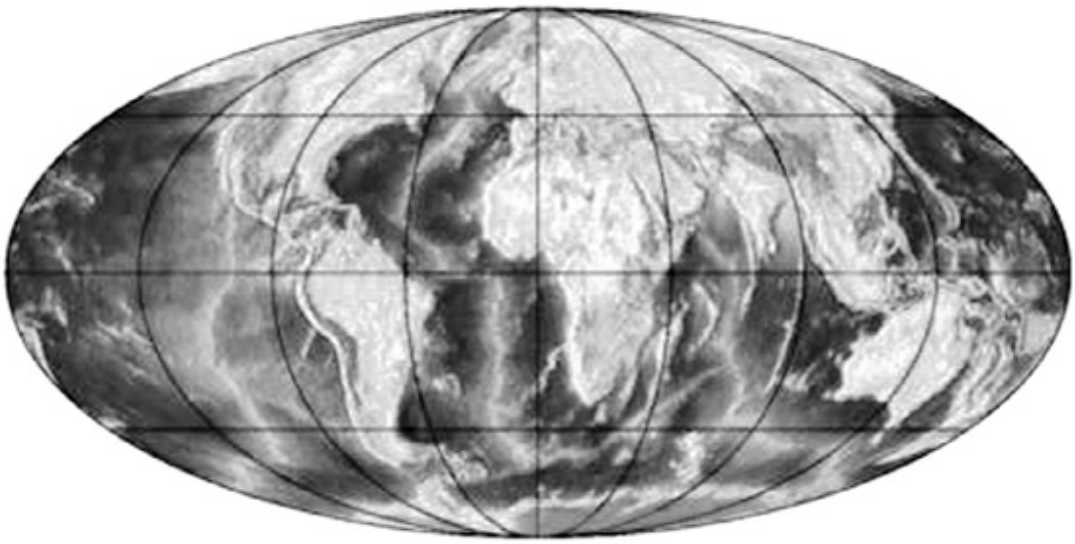
Sprawa nie jest tak oczywista, ponieważ nasuwa się pytanie, w jaki sposób warunki początkowe przyczyniły się do stworzenia płaskiego wszechświata.

Są dwie odpowiedzi na to drugie, trudniejsze pytanie. Pierwsza sięga roku 1981, gdy młody fizyk teoretyk i stypendysta po doktoracie na Uniwersytecie Stanforda, Alan Guth, rozmyślał nad problemem płaskości Wszechświata w standardowym modelu Wielkiego Wybuchu i dwoma innymi związanymi z tym zagadnieniami: tak zwanym problemem horyzontu i problemem monopoli. Tylko pierwszy powinien nas teraz martwić, problem monopoli bowiem pogarsza tylko nadzieję na rozwiązanie obu pozostałych, problemu płaskości i problemu horyzontu.

Problem horyzontu związany jest z wyjątkową jednorodnością promieniowania mikrofalowego tła. Małe odchylenia temperatury, o których mówiłem poprzednio, odzwierciedlają odchylenia gęstości materii i promieniowania o mniej więcej jedną dziesięciotysięczną od skądinąd stałej temperatury i gęstości z czasów, gdy Wszechświat miał zaledwie kilkaset tysięcy lat. A więc przede wszystkim zamiast skupiać uwagę na małych odchyleniach, bardziej istotne byłoby dowiedzenie się, w jaki sposób Wszechświat stał się tak jednorodny.

Ostatecznie jeśli zamiast wcześniejszego obrazu CMBR (na którym odchylenia temperatur wynoszące około kilku stutysięcznych są zaznaczone różnymi kolorami) pokazałbym mapę temperatury mikrofalowego nieba w skali liniowej (ze zmiennym cieniowaniem odpowiadającym odchyleniom temperatury rzędu ±0,03 kelwina od temperatury tła wynoszącej 2,72 kelwina, lub odchyleniu jednej setnej od wartości średniej), to wyglądałaby jak poniżej.

Porównajmy ten rysunek, niezawierający nic szczególnego, z podobnym rzutem powierzchni Ziemi, na którym zmienne kolory określają zmianę wysokości od średniego promienia o mniej więcej jedną pięćsetną.



Dlatego właśnie Wszechświat w skali kosmicznej jest *niesamowicie jednorodny*!

Skąd się to bierze? Otóż można po prostu założyć, że w najwcześniejszym okresie istnienia Wszechświat był gorący, gęsty i pozostawał w stanie równowagi. Oznacza to, że każde gorące

miejsce powinno się ochładzać, a zimne ogrzewać, zanim pierwotna zupa w całości osiągnęła taką samą temperaturę.

Jednak jak już wcześniej wspominałem, gdy Wszechświat miał kilkaset tysięcy lat, światło mogło przemieszczać się na kilkaset tysięcy lat świetlnych, co stanowiło zaledwie znikomy procent tego, co dzisiaj jest obserwowalną częścią Wszechświata (ta odległość odpowiada tylko jednemu stopniowi na mapie powierzchni ostatniego rozproszenia obserwowanej w czasach obecnych). Skoro Einstein uczy nas, że żadna informacja nie może się rozprzestrzeniać szybciej niż światło, to w standardowym modelu Wielkiego Wybuchu po prostu nie może być tak, że jedna część obserwowalnego obecnie Wszechświata w tamtym czasie mogła mieć kontakt z innymi częściami i ich temperaturą, które obecnie przekraczają skalę kątową o jeden stopień. Stąd wniosek, że nie było możliwości, aby wówczas gaz mógł ulec na czas termalizacji, tak by powstał jednorodny rozkład temperatury!

Guth, fizyk zajmujący się cząstkami elementarnymi, rozmyślał o istotnych dla zrozumienia tego problemu procesach zachodzących we wczesnym okresie istnienia Wszechświata, gdy nagle wpadł mu do głowy zupełnie olśniewający pomysł rozwiązania. Jeśli w czasie oziębiania się Wszechświata przejdzie on pewnego rodzaju przemianę fazową – taką jak na przykład woda w trakcie ochładzania, gdy przekształca się w lód, albo sztabka żelaza podczas ochładzania uzyskująca namagnesowanie – wtedy uda się rozwiązać nie tylko problem horyzontu, ale także problem płaskości (i również problem monopoli).

Jeśli lubicie pić zimne piwo, to pewnie już tego doświadczyliście. Wyjmujecie z lodówki zimną butelkę piwa, otwieracie ją, uwalniając sprężony wewnątrz gaz, a piwo nagle się oziębia. Może to nawet spowodować pęknięcie butelki. To zjawisko ma następujące wyjaśnienie. Pod wysokim ciśnieniem stan ciekły piwa ma najniższą energię, natomiast po uwolnieniu gazu najniższą energię ma stan stały. Podczas przemiany fazowej zostaje uwolniona różnica energii w obu fazach. Taka uwolniona energia nazywa się „ciepłem utajonym”.

Guth doszedł do wniosku, że gdy po Wielkim Wybuchu następowało oziębienie, konfiguracja materii i promieniowania rozszerzającego się Wszechświata mogła przez jakiś czas „tkwić" w pewnym stanie metastabilnym, a w trakcie dalszego ochładzania nagle nastąpiło przejście fazowe do stanu podstawowego. Energia zmagazynowana w konfiguracji zwanej „fałszywą próżnią" – albo „ciepło utajone" Wszechświata – mogła radykalnie wpłynąć na ekspansję Wszechświata w okresie poprzedzającym przejście fazowe.

Energia fałszywej próżni miałaby własności podobne do stałej kosmologicznej, ponieważ byłaby energią przenikającą pustą przestrzeń. Musiałoby to powodować coraz większe i większe przyspieszenie ekspansji Wszechświata. W końcu to, co miało się stać naszym obserwowalnym Wszechświatem, mogło rozszerzać się szybciej od światła. Taki proces jest dozwolony w ogólnej teorii względności, nawet jeśli wydaje się naruszać zasady szczególnej teorii względności, która mówi, że nic nie może poruszać się z prędkością większą od prędkości światła w próżni. Tutaj jednak trzeba dokonać rozbioru syntaktycznego. Szczególna teoria względności mówi, że nic *w przestrzeni* nie może poruszać się szybciej od światła, ale *sama przestrzeń* może robić, co zechce, przynajmniej w ogólnej teorii względności. Przestrzeń, rozszerzając się, unosi zatem z prędkością nadświetlną obiekty znajdujące się w spoczynku w miejscu położenia.

Okazuje się, że Wszechświat mógł rozszerzyć się w czasie inflacji o współczynnik wynoszący więcej niż $10^{28}$. I chociaż jest to liczba ogromna, mogło się to wydarzyć w ułamku sekundy po powstaniu Wszechświata. W takim razie przed inflacją wszystko wewnątrz całego obserwowalnego Wszechświata było kiedyś zawarte w obszarze znacznie mniejszym, niż gdyby inflacji nie było, i co najważniejsze, tak małym, że wtedy wystarczyłoby czasu na to, aby cały region mógł ulec termalizacji i mieć wszędzie taką samą temperaturę.

Inflacja umożliwia jeszcze jedno względnie ogólne przewidywanie. Gdy balon jest nadmuchiwany coraz bardziej, krzywizna jego

powierzchni staje się coraz mniejsza. Coś podobnego stało się ze Wszechświatem, którego rozmiar wzrastał wykładniczo pod działaniem dużej i stałej energii fałszywej próżni. Rzeczywiście w czasie gdy skończyła się inflacja (rozwiązując problem horyzontu), krzywizna Wszechświata (jeśli na początku jego istnienia była niezerowa) została tak absurdalnie zmniejszona, że nawet dzisiaj precyzyjnie mierzony wydaje się on w istocie płaski.

Inflacja jest obecnie jedynym realnym wytłumaczeniem jednorodności i płaskości Wszechświata, opartym na fundamentalnych i mierzalnych teoriach mikroskopowych cząstek elementarnych i ich oddziaływań. Więcej, inflacja umożliwia inne, być może jeszcze bardziej niezwykłe przewidywania. Jak już poprzednio pisałem, prawa mechaniki kwantowej wskazują, że w bardzo małej skali, w bardzo krótkim czasie, pusta przestrzeń może być miksturą spienionych, wrzących cząstek wirtualnych i gwałtownych fluktuacji pól. Te „kwantowe fluktuacje" mogą wpływać na własności protonów i atomów, ale ogólnie są niezauważalne w większej skali i dlatego wydają się nam tak niezwykłe.

Podczas inflacji natomiast te kwantowe fluktuacje mogą zadecydować, kiedy małe regiony przestrzeni kończą okres wykładniczej ekspansji. Skoro różne obszary zatrzymują swą inflację w trochę innych (mikroskopowo) momentach, to gęstość materii i promieniowania jest różna w każdym z tych regionów w momencie uwalniania energii fałszywej próżni w postaci ciepła.

Wzorzec fluktuacji gęstości powstający po inflacji – na skutek, co muszę tutaj podkreślić, kwantowych fluktuacji skądinąd pustej przestrzeni – okazuje się akurat taki jak obserwowany w skali kosmicznej wzorzec zimnych i gorących plam w mikrofalowym promieniowaniu tła. Oczywiście taka zgodność nie jest dowodem, lecz wśród kosmologów narasta przekonanie, że jeśli coś chodzi jak kaczka, wygląda jak kaczka, kwacze jak kaczka, to jest to prawdopodobnie kaczka. I jeśli rzeczywiście inflacja odpowiada za wszystkie małe fluktuacje gęstości materii i promieniowania, które później spowodują grawitacyjne skupianie się materii w galaktyki, gwiazdy, planety oraz ludzi, to naprawdę można powiedzieć, że

dzięki kwantowym fluktuacjom istniejemy tu i teraz w czymś, co w istocie jest *niczym*.

To tak niezwykłe, że chcę powyższą obserwację jeszcze raz podkreślić. Kwantowe fluktuacje, które w inny sposób nie byłyby zupełnie zauważone, zamarły na skutek inflacji, a potem pojawiły się w postaci fluktuacji gęstości, z których powstało wszystko, co widzimy! Jeśli więc wszyscy pochodzimy z pyłu gwiezdnego, to o ile rzeczywiście zaszła inflacja, jest także prawdą, że dosłownie wszyscy wyłoniliśmy się z kwantowej nicości.

Jest to tak uderzająco sprzeczne z intuicją, że wydaje się jakąś magią. Pozostaje jednak przynajmniej jeden aspekt całego tego inflacyjnego prestidigitatorstwa, który może wydawać się szczególnie kłopotliwy. Skąd się bierze ta energia? Jak mikroskopowo niewielki region może stać się obecnie czymś o wymiarach Wszechświata z dostateczną do wyjaśnienia wszystkiego, co widzimy, ilością materii i promieniowania?

Możemy zadać także pytanie, jak to się dzieje, że gęstość energii może pozostać stała w rozszerzającym się wszechświecie ze stałą kosmologiczną, inaczej ujmując, rozszerzającym się wszechświecie z energią fałszywej próżni. W końcu w takim wszechświecie przestrzeń rozszerza się wykładniczo, dlatego jeśli gęstość energii pozostaje taka sama, to całkowita energia wewnątrz każdego obszaru będzie rosnąć wraz ze wzrostem jego objętości. Co dzieje się z zasadą zachowania energii?

To przykład tego, co Guth nazwał „darmowym obiadem". Włączenie grawitacji w rozważania o wszechświecie spowoduje, że obiekty mają – o dziwo – zarówno „ujemną", jak i „dodatnią" energię. Ta cecha grawitacji umożliwia zrównoważenie dodatniej energii materii i promieniowania konfiguracjami o energii ujemnej. W ten sposób pusty wszechświat dzięki działaniu grawitacji może stać się wszechświatem zapełnionym.

Pomysł może brzmieć trochę mętnie, ale w rzeczywistości dla wielu z nas jest to główny powód fascynacji płaskim wszechświatem. Jest to także coś, co być może znacie z lekcji fizyki w szkole średniej.

Pomyślmy o piłce rzuconej w górę. Wiemy, że jednak powróci. A teraz rzućmy ją mocniej (zakładając, że nie jesteście wewnątrz

pomieszczenia). Poleci wyżej i pozostanie w powietrzu dłużej, zanim powróci. W końcu jeśli rzucimy ją wystarczająco silnie, to nigdy już nie powróci. Ucieknie z pola grawitacyjnego Ziemi i będzie podróżować w głąb kosmosu.

Kiedy piłka może uciec? Dokonajmy prostej kalkulacji energii. Obiekt poruszający się w ziemskim polu grawitacyjnym ma dwa rodzaje energii. Pierwszy to energia ruchu, zwana *energią kinetyczną*, od greckiego słowa oznaczającego ruch. Ta energia, zależąca od prędkości obiektu, jest zawsze dodatnia. Drugi rodzaj energii (związany ze zdolnością ciała do wykonania pracy), zwany *energią potencjalną*, w zasadzie jest ujemny.

A to dlatego, że całkowita energia grawitacyjna ciała będącego w spoczynku i znajdującego się nieskończenie daleko od innych obiektów jest z definicji równa zeru. Energia kinetyczna takiego ciała wynosi dokładnie zero, a energię potencjalną w tym punkcie definiujemy jako równą zeru, co w wyniku daje całkowitą energię grawitacyjną równą zeru.

A teraz, jeśli obiekt nie jest położony nieskończenie daleko od innych obiektów, ale znajduje się w pobliżu takiego jak na przykład Ziemia, to zacznie spadać w jego kierunku na skutek przyciągania grawitacyjnego. Gdy będzie spadać, będzie wzrastać jego prędkość i jeśli w coś uderzy po drodze (powiedzmy, w dach waszego samochodu), to może wykonać pracę, wgniatając go. Im bliżej znajduje się powierzchni Ziemi, gdy jest uwalniany, tym mniejszą może wykonać pracę w czasie uderzenia w Ziemię. Zatem energia potencjalna *zmniejsza się*, im bliżej Ziemi znajduje się ciało. Jeśli natomiast energia potencjalna jest równa zeru, gdy znajduje się ono nieskończenie daleko od Ziemi, to musi stawać się coraz bardziej i bardziej ujemna, im bliżej Ziemi jest ciało położone, ponieważ zmniejsza się jego zdolność do wykonania pracy.

W mechanice klasycznej definicja energii potencjalnej jest dowolna. Mogę zdefiniować jako zerową energię potencjalną obiektu położonego na powierzchni Ziemi, co spowoduje, że jego energia potencjalna z dala od Ziemi będzie wyrażać się dużą liczbą dodatnią. Zdefiniowanie całkowitej energii jako wynoszącej zero

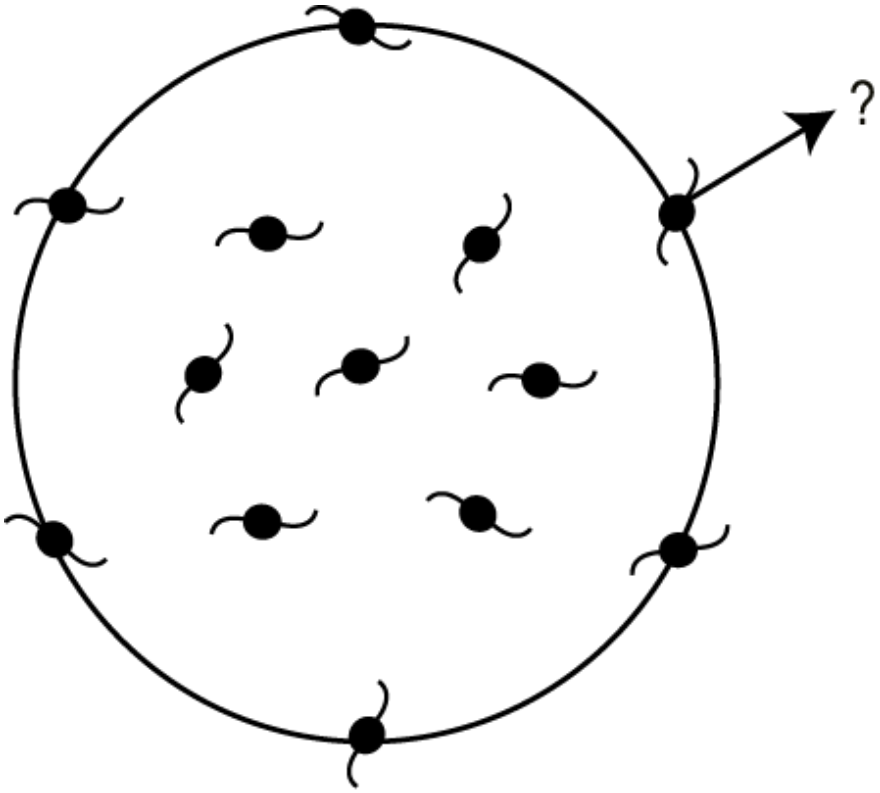
w nieskończoności ma fizyczny sens, chociaż w tym momencie naszych rozważań stanowi jedynie efekt przyjętej konwencji.

Niezależnie od tego, gdzie ustalimy punkt zera energii potencjalnej, najważniejszą zasadą dla obiektów oddziałujących jedynie siłami grawitacyjnymi jest to, że *suma* ich energii potencjalnej i kinetycznej pozostaje zawsze taka sama. Gdy obiekty spadają, ich energia potencjalna przekształca się w energię kinetyczną, gdy zaś się odbiją od ziemi, energia kinetyczna przekształca się z powrotem w energię potencjalną i tak dalej.

Znacznie upraszcza to obliczenie, z jak wielką prędkością należy piłkę wyrzucić w powietrze, aby na dobre uciekła z powierzchni Ziemi, a ponieważ w końcu ma dolecieć nieskończenie daleko od niej, to jej całkowita energia musi być większa od zera lub mu równa. Musimy tylko dopilnować, żeby całkowita energia grawitacyjna piłki w momencie wypuszczania jej z rąk miała taką właśnie wartość. A ponieważ możemy kontrolować tylko jeden rodzaj jej całkowitej energii – energię kinetyczną, z jaką opuszcza naszą rękę – wszystko, co musimy uczynić, to nadać jej magiczną prędkość, przy której jej dodatnia energia kinetyczna zrówna się z energią potencjalną, jaką ma dzięki oddziaływaniu grawitacyjnemu z Ziemią. Obie energie, kinetyczna i potencjalna, zależą w ten sam sposób od masy ciała, która tym sposobem skraca się w obliczeniach, gdy stawiamy znak równości między obiema energiami i w rezultacie otrzymujemy wyrażenie na „prędkość ucieczki" z Ziemi równą około 11,3 kilometra na sekundę dla wszystkich obiektów, gdy ich całkowita energia grawitacyjna jest równa dokładnie zeru.

Możecie zapytać, co to w ogóle ma wspólnego ze Wszechświatem, a szczególnie z inflacją. Otóż taki sam rodzaj obliczeń ma zastosowanie do każdego obiektu w naszym rozszerzającym się Wszechświecie.

Rozważmy sferyczny region Wszechświata z centrum przypadającym w naszym położeniu (w Drodze Mlecznej), wystarczająco duży, aby objął sporo galaktyk, ale na tyle mały, aby znalazł się całkowicie wewnątrz zakresu dzisiejszych obserwacji.




Jeśli obszar ten jest dostatecznie duży, ale nie za duży, galaktyki znajdujące się na jego krawędzi będą oddalały się od nas jednostajnie zgodnie z prawem Hubble'a, ale z prędkościami znacznie mniejszymi od prędkości światła. W takim wypadku mają zastosowanie prawa Newtona i możemy zignorować efekty związane z teorią względności, szczególną i ogólną. Innymi słowy, każdy obiekt podlega fizyce, która jest identyczna z tą, jaką opisałem w wypadku piłki wyrzucanej poza Ziemię.

Rozważmy galaktykę ukazaną powyżej, poruszającą się w kierunku od centrum rozkładu masy. Tak jak w wypadku piłki, możemy zapytać, czy galaktyka będzie w stanie uciec z grawitacyjnego przyciągania innych galaktyk znajdujących się wewnątrz sfery. Obliczenia będą przebiegać podobnie jak dla piłki. Po prostu obliczamy całkowitą energię grawitacyjną galaktyki, dodając część związaną z jej ruchem na zewnątrz (ze znakiem plus) do części związanej z przyciąganiem jej sąsiadek (ze znakiem minus). Jeśli jej całkowita energia jest większa od zera, to ucieknie ona

w nieskończoność, jeśli jest mniejsza od zera, to zatrzyma się i zawróci ku centrum masy.

A teraz rzecz niesamowita: można tak przekształcić proste równanie newtonowskie dla całkowitej energii tej galaktyki, aby odtwarzało równanie ogólnej teorii względności dla rozszerzającego się wszechświata. Człon odpowiadający za całkowitą energię grawitacyjną galaktyki stanie się w ogólnej teorii względności członem opisującym krzywiznę wszechświata.

Co z tego wyniknie? W płaskim wszechświecie, i *tylko* w takim, całkowita średnia newtonowska energia grawitacyjna każdego obiektu poruszającego się wraz z ekspansją przestrzeni jest *równa dokładnie zeru*!

Dlatego właśnie płaski wszechświat jest tak szczególny. W takim wszechświecie dodatnia energia ruchu jest idealnie równoważona przez ujemną energię grawitacyjnego przyciągania.

Gdy komplikujemy zagadnienie, dopuszczając istnienie energii pustej przestrzeni, prosta analogia newtonowska do piłki rzuconej w górę staje się już niemożliwa, ale wnioski pozostają w istocie takie same. W płaskim wszechświecie, nawet w takim z małą stałą kosmologiczną, o ile skala jest mała na tyle, że prędkości są znacznie mniejsze od prędkości światła, całkowita newtonowska energia grawitacyjna wszystkiego, co powstało na skutek przekształcenia się energii próżni w materię i promieniowanie, staje się zerem.

Tak naprawdę za sprawą energii próżni „darmowy obiad” Gutha staje się jeszcze bardziej wątpliwy. Gdy każdy z regionów rozszerza się coraz dalej, staje się coraz bardziej i bardziej płaski, tak że całkowita newtonowska energia grawitacyjna wszystkiego, co powstało podczas inflacji na skutek przekształcenia się energii próżni w materię i promieniowanie, staje się równa dokładnie zeru.

Wciąż co prawda można pytać, skąd się brała energia zasilająca stałą gęstość podczas inflacji, gdy Wszechświat rozszerzał się wykładniczo. Tu stosuje się trik wynikający z niezwykłego aspektu ogólnej teorii względności. Nie tylko energia grawitacyjna obiektów może być ujemna, ujemne może być także ich relatywistyczne „ciśnienie”.

Ujemne ciśnienie jeszcze trudniej sobie wyobrazić niż ujemną energię. Gaz zamknięty w balonie wywiera ciśnienie na ścianki. Dzięki temu rozszerza je i wykonuje na balonie pracę. Praca wykonana przez gaz powoduje utratę jego energii i ochłodzenie. Okazuje się jednak, że energia pustej przestrzeni jest grawitacyjnie odpychająca, ponieważ powoduje „ujemne" ciśnienie. Dzięki ujemnemu ciśnieniu to wszechświat wykonuje pracę *nad* pustą przestrzenią, aby ją rozszerzyć. Ta praca podtrzymuje stałość gęstości energii przestrzeni podczas rozszerzania się wszechświata.

W ten sposób, jeśli infinitezymalnie mały skrawek pustej przestrzeni dzięki kwantowym własnościom materii i promieniowania uzyska energię w bardzo początkowym okresie istnienia wszechświata, stanie się dowolnie wielki i dowolnie płaski. Gdy skończy się inflacja, wszechświat może być już czymś zapełniony (materią i promieniowaniem), a całkowita newtonowska energia grawitacyjna tego czegoś będzie tak bliska zera, jak tylko można sobie wyobrazić.

Tak więc gdy opadł cały kurz, po prawie stuleciu usiłowań, zmierzyliśmy krzywiznę Wszechświata, która, jak się okazało, wynosi zero. Możecie teraz zrozumieć, dlaczego tak wielu teoretyków, łącznie ze mną, uważa te osiągnięcia nie tylko za bardzo satysfakcjonujące, ale także bardzo znaczące.

Naprawdę … Wszechświat z Niczego.

# Rozdział 7

# Nasza ponura przyszłość

*Przyszłość już nie jest taka jak kiedyś.*

Yogi Berra

To zarówno niezwykłe, jak i fascynujące, że znajdujemy się we Wszechświecie zdominowanym przez nic. Wszystkie struktury, które możemy oglądać, takie jak gwiazdy i galaktyki, zostały stworzone z kwantowych fluktuacji niczego. A średnia całkowita newtonowska energia grawitacyjna każdego obiektu w naszym Wszechświecie też nic nie wynosi. Cieszmy się tą myślą, gdy jeszcze możemy, ponieważ jeśli to jest prawda i jeśli weźmiemy pod uwagę przyszłość życia, to prawdopodobnie żyjemy w najgorszym ze wszystkich sprzyjających życiu wszechświatów.

Przypomnijmy sobie, że zaledwie sto lat temu Einstein zabrał się do tworzenia swej ogólnej teorii względności. Zgodnie z panującym wtedy poglądem nasz Wszechświat był statyczny i wieczny. Einstein tak naprawdę nie tylko naśmiewał się z Lemaître'a za jego sugestię, iż kiedyś zdarzył się Wielki Wybuch, ale także wprowadził stałą kosmologiczną, aby z jego teorii wynikało istnienie wszechświata statycznego.

Teraz, wiek później, my, ludzie nauki, możemy być zadowoleni, że odkryliśmy ekspansję Wszechświata, kosmiczne promieniowanie tła, ciemną materię i ciemną energię.

Co jednak przyniesie przyszłość?

To raczej jakaś… poezja.

Przypomnijmy sobie, że wniosek o dominacji energii, zawartej w pozornie pustej przestrzeni, nad ekspansją Wszechświata wyciągnięto z faktu, iż ekspansja ta przyspiesza. I podobnie jak działo się z inflacją, co opisano w ostatnim rozdziale, nasz obserwowalny Wszechświat znajduje się na progu rozszerzania szybszego od prędkości światła. A z czasem, z powodu przyspieszonej ekspansji, rzeczy będą się mieć tylko jeszcze gorzej.

Oznacza to, że im dłużej będziemy czekać, tym mniej będziemy w stanie zobaczyć. Galaktyki, jakie obecnie widzimy, pewnego dnia w przyszłości zaczną oddalać się od nas z prędkością większą od prędkości światła, a zatem staną się dla nas niewidoczne. Światło przez nie emitowane nie będzie w stanie pokonać ekspansji przestrzeni i nigdy już do nas nie dotrze. Galaktyki znikną z naszego horyzontu.

Mechanizm tego zjawiska jest nieco inny, niż sobie wyobrażacie. Galaktyki nagle nie znikną ani nie przestaną migotać na nocnym niebie. Raczej gdy ich prędkość ucieczki zbliży się do prędkości światła, zaczną świecić na czerwono. W końcu całe ich widzialne światło przesunie swą długość fal do zakresu podczerwieni, mikrofal, fal radiowych i tak dalej, aż stanie się ona większa od rozmiarów widzialnego Wszechświata, co można uznać za oficjalne potwierdzenie ich niewidoczności.

Możemy obliczyć, ile czasu to zajmie. Galaktyki w naszej Grupie Lokalnej związane są ze sobą wzajemnym przyciąganiem grawitacyjnym, dlatego nie będą oddalać się wraz z odkrytą przez Hubble'a ekspansją Wszechświata. Te na zewnątrz naszej Grupy Lokalnej dzieli od nas około jednej pięciotysięcznej odległości do punktu, w którym obiekty zyskają prędkość oddalania się bliską prędkości światła. Zanim galaktyki te znajdą się w owym punkcie, upłynie około 150 miliardów lat, czyli dziesięć razy więcej, niż wynosi obecny wiek Wszechświata. Gdy się tam już znajdą, całe światło gwiazd znajdujących się wewnątrz takiej galaktyki przesunie się ku czerwieni o współczynnik 5000. Za jakieś dwa biliony lat przesunie się ono ku czerwieni na tyle, że ich długość fali zrówna się z rozmiarem widzialnej części Wszechświata i wtedy reszta Wszechświata dosłownie zniknie.

Dwa biliony lat może wydawać się bardzo długim odcinkiem czasu i tak rzeczywiście jest. W kosmicznym wymiarze jednak nijak się to ma do wieczności. Najdłużej żyjące gwiazdy z „ciągu głównego" (które mają historię ewolucji taką samą jak nasze Słońce) są znacznie starsze od naszego Słońca i będą świecić jeszcze dwa biliony lat (nawet jeśli Słońce zginie za mniej więcej pięć miliardów lat). Dlatego w odległej przyszłości mogą istnieć cywilizacje na planetach wokół takich gwiazd, cywilizacje, które będą zasilane przez energię słoneczną, które będą mieć wodę i materię organiczną. Mogą także tam istnieć astronomowie wraz ze swoimi teleskopami. Gdy będą jednak spoglądać w kosmos, wszystko, co my teraz widzimy, około czterystu miliardów galaktyk wypełniających nasz widzialny Wszechświat, dla nich zniknie wtedy już na zawsze!

Próbowałem użyć tego argumentu w Kongresie, aby zdobyć fundusze dla kosmologii teraz, póki mamy jeszcze czas, aby obserwować wszystko, co tylko możemy! Jednak dla kongresmanów dwa lata to zbyt długo. A już dwa biliony – wprost nie do wyobrażenia.

W każdym razie tych astronomów z odległej przyszłości oczekuje nie lada zaskoczenie, o ile będą mieć jakieś pojęcie o tym, czego im brakuje, a brakować będzie. Nie tylko zniknie reszta Wszechświata, jak dostrzegliśmy to kilka lat temu ja i mój kolega Robert Scherrer z Uniwersytetu Vanderbilta, ale w gruncie rzeczy zginą także wszystkie dowody świadczące teraz o tym, że żyjemy w rozszerzającym się Wszechświecie, który rozpoczął swe istnienie w Wielkim Wybuchu. Rozpłyną się w nicości razem ze wszystkimi dowodami istnienia ciemnej energii pustej przestrzeni, energii, która będzie odpowiedzialna za to zniknięcie.

Chociaż ponad sto lat temu w powszechnym przekonaniu Wszechświat wydawał się statyczny i wieczny, z pojawiającymi się i znikającymi gwiazdami i planetami, ale w skali kosmicznej trwały, to w odległej przyszłości, gdy już jakiekolwiek pozostałości naszej planety i cywilizacji trafią na śmietnik historii, iluzja, która podtrzymywała na duchu naszą cywilizację do lat trzydziestych XX wieku, jeszcze raz powróci, ale z podwojoną mocą.

Istnieją trzy główne dowody obserwacyjne, które wspierają empiryczne uzasadnienie Wielkiego Wybuchu, zatem gdyby nawet Einstein i Lemaître nigdy nie istnieli, bylibyśmy zmuszeni uznać, że Wszechświat w chwili swego powstania był bardzo gorący i gęsty. A to dzięki obserwacjom ekspansji przeprowadzonym przez Hubble'a, analizie kosmicznego promieniowania tła i odkryciu zgodności między zmierzoną we Wszechświecie obfitością lekkich pierwiastków – wodoru, helu i litu – a przewidywaną ich ilością stworzoną w ciągu kilku pierwszych minut historii Wszechświata.

Zacznijmy od ekspansji Hubble'a. Skąd wiemy, że Wszechświat się rozszerza? Mierzymy prędkość oddalania się odległych obiektów w funkcji ich odległości. Gdy jednak już wszystkie widzialne obiekty na zewnątrz naszej Grupy Lokalnej (z którą jesteśmy grawitacyjnie związani) znikną z naszego horyzontu, nie pozostaną żadne ślady ekspansji – nie będzie żadnych gwiazd, galaktyk, kwazarów ani nawet dużych mgławic gazowych – które obserwatorzy mogliby wykryć. Ekspansja będzie tak wydajna, że usunie z pola widzenia wszystkie obiekty, które obecnie się od nas oddalają.

Ponadto, w skali czasowej mniej więcej biliona lat, wszystkie galaktyki z naszej Grupy Lokalnej skupią się w jednej dużej metagalaktyce. Obserwatorzy z odległej przyszłości będą widzieli mniej więcej to samo, co wydawało się obserwatorom w 1915 roku: pojedynczą galaktykę składającą się z gwiazd i ich planet otoczoną przez ogromną, pustą, statyczną przestrzeń.

Przypomnijmy także, że wszystkie dowody wskazujące na to, iż pusta przestrzeń ma energię, pochodzą z obserwacji tempa przyspieszania ekspansji Wszechświata. Tymczasem bez śladów ekspansji przyspieszanie jej przez Wszechświat będzie niemożliwe do zaobserwowania. Istotnie, na skutek dziwnego zbiegu okoliczności żyjemy w jedynej epoce historii Wszechświata, gdy istnieje duża szansa odkrycia ciemnej energii przenikającej pustą przestrzeń. To prawda, że ten okres sięga kilkuset miliardów lat, ale w wiecznie rozszerzającym się Wszechświecie trwa tylko mrugnięcie kosmicznego oka.

Jeśli założymy, że energia pustej przestrzeni jest z grubsza stała, jak w wypadku stałej kosmologicznej, to w znacznie wcześniejszym

okresie gęstość energii zawartej w materii i promieniowaniu musiała sporo przewyższać gęstość energii zawartej w pustej przestrzeni. Po prostu dlatego, że gdy Wszechświat się rozszerza, gęstość materii i promieniowania zmniejsza się, ponieważ rosną odległości pomiędzy cząstkami, co powoduje, że w jednostce objętości jest coraz mniej obiektów. We wcześniejszym okresie, powiedzmy, dawniej niż około pięciu do dziesięciu miliardów lat temu, gęstość materii i promieniowania powinna być znacznie większa niż obecnie. Wszechświat wtedy i wcześniej był zdominowany przez materię i promieniowanie, i ich grawitacyjne przyciąganie. W takim razie jego ekspansja musiała zwalniać swe tempo, a grawitacyjny wpływ energii pustej przestrzeni musiał być niezauważalny.

Z tego samego powodu w bardzo odległej przyszłości, gdy Wszechświat będzie miał kilkaset miliardów lat, gęstość pozostałej jeszcze materii i promieniowania zmniejszy się tak radykalnie, że będzie stanowić około jednej bilionowej części gęstości ciemnej energii. Będzie ona wtedy bezapelacyjnie rządzić dynamiką grawitacyjną Wszechświata w skali kosmicznej. Jednak tempo przyspieszonej ekspansji stanie się zupełnie niemożliwe do zaobserwowania. W tym sensie dzięki własnościom energii pustej przestrzeni istnieje skończony czas, w którym można obserwować skutki jej istnienia i, co niezwykłe, żyjemy właśnie w takim kosmologicznym okresie.

A co można powiedzieć o innym głównym filarze Wielkiego Wybuchu, kosmicznym promieniowaniu tła, dzięki któremu otrzymujemy bezpośredni obraz niemowlęcego Wszechświata? Przede wszystkim gdy Wszechświat będzie zwiększał w przyszłości tempo rozszerzania, to zmniejszy się temperatura promieniowania tła. Gdy obecnie obserwowana jego część kosmosu będzie stokrotnie większa, to temperatura promieniowania tła spadnie stokrotnie, a jego natężenie albo gęstość energii zmniejszy się sto milionów razy, co spowoduje, że jego wykrycie stanie się około stu milionów razy trudniejsze niż obecnie.

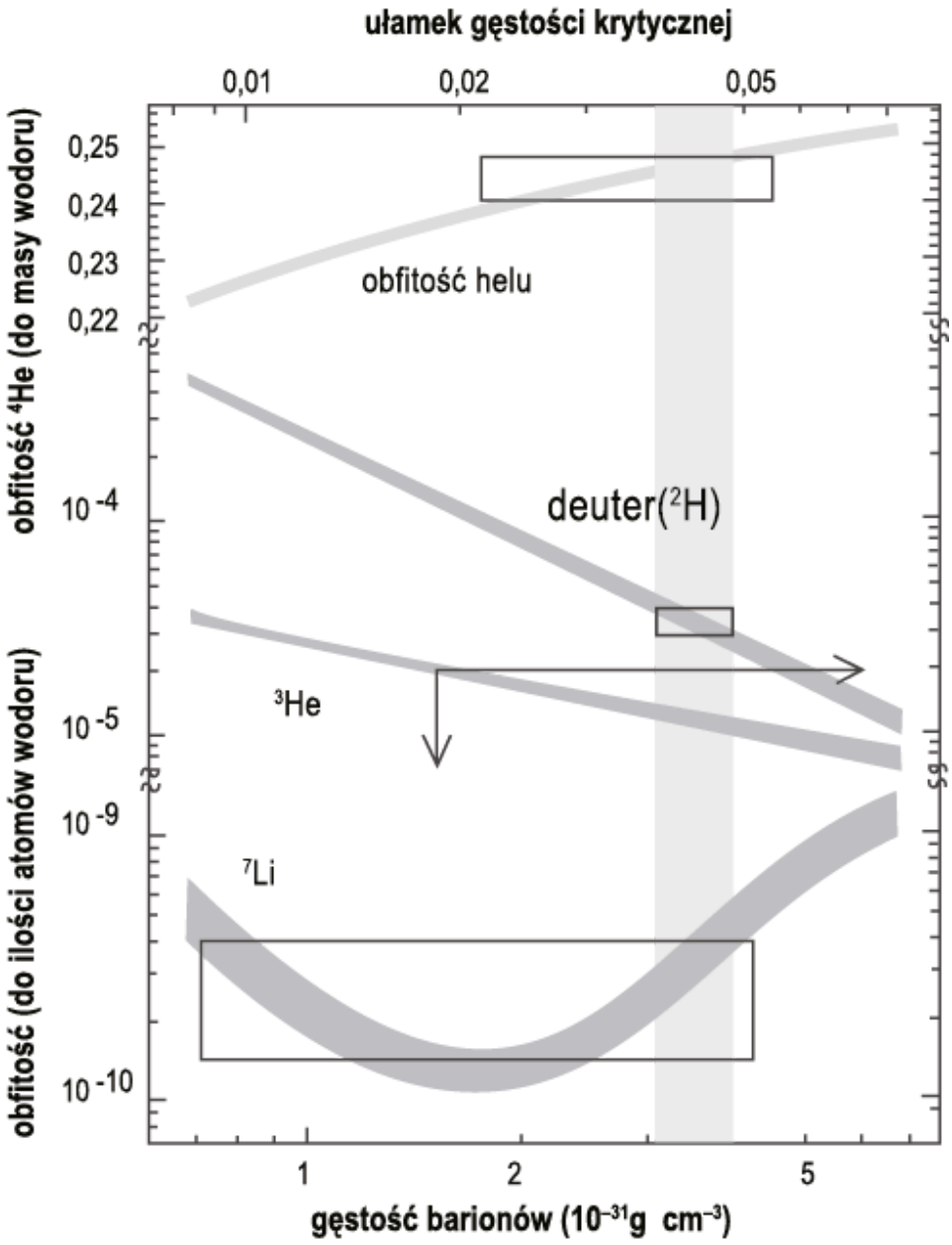
A przecież my byliśmy w stanie wykryć kosmiczne promieniowanie tła spośród wielu zakłóceń elektromagnetycznych istniejących na Ziemi i dlatego można sobie wyobrazić, że obserwatorzy w odległej

przyszłości będą sto milionów razy mądrzejsi niż ci obecni, dlatego jakaś nadzieja pozostaje. Niestety, okazuje się, że nawet najbystrzejszy obserwator, jakiego można sobie wyobrazić, z najbardziej czułym urządzeniem pomiarowym, jakie można by zbudować, w gruncie rzeczy nie będzie miał szczęścia w odległej przyszłości. A to z tego powodu, że w naszej Galaktyce (albo metagalaktyce, która uformuje się, gdy nasza Galaktyka połączy się ze swoimi sąsiadkami, poczynając od Andromedy, za jakieś pięć miliardów lat) pomiędzy gwiazdami kotłuje się gorący i zjonizowany gaz, który zawiera swobodne elektrony i dlatego ma własności podobne do plazmy. Jak już pisałem wcześniej, taka plazma jest nieprzejrzysta dla wielu typów promieniowania.

Istnieje coś takiego jak „częstość plazmowa", poniżej której promieniowanie nie może przenikać przez plazmę bez absorpcji. Opierając się na obecnie zmierzonej gęstości swobodnych elektronów w naszej Galaktyce, możemy oszacować częstość plazmową, a gdy to zrobimy, okaże się, że mikrofalowe promieniowanie tła w chwili gdy Wszechświat stanie się pięćdziesiąt razy starszy niż obecnie, będzie mieć długość fali dostatecznie dużą, czyli częstość wystarczająco małą, aby była niższa od częstości plazmowej naszej przyszłej metagalaktyki. Gdy to nastąpi, promieniowanie zasadniczo nie będzie w stanie dotrzeć do wnętrza metagalaktyki i nie będzie możliwości jego obserwacji, niezależnie od tego, jak doskonały mógłby być obserwator. Zniknie także kosmiczne promieniowanie tła.

Zginie więc niewidoczna ekspansja i niewidoczna pozostałość poświaty Wielkiego Wybuchu. A co z obfitością lekkich pierwiastków – wodoru, helu i litu – która także stanowi sygnaturę Wielkiego Wybuchu?

Jak pisałem w rozdziale 1, gdy spotykam kogoś, kto nie wierzy w Wielki Wybuch, lubię pokazywać następujący rysunek, który trzymam jak wizytówkę w portfelu. I mówię wtedy: „Zobacz! Był jednak Wielki Wybuch!".




Wiem, ten rysunek wygląda na bardzo skomplikowany, ale w rzeczywistości pokazuje przewidzianą w modelu Wielkiego Wybuchu względną obfitość helu, deuteru, helu-3 i litu w porównaniu z wodorem. Krzywa u góry, wznosząca się ku górnemu prawemu rogowi rysunku, wyraża przewidzianą obfitość helu, drugiego z kolei najbardziej rozpowszechnionego we Wszechświecie pierwiastka, względem masy wodoru (najbardziej rozpowszechnionego pierwiastka). Następne dwie krzywe, opadające

w dół ku stronie prawej, to przewidziane obfitości deuteru i helu-3 względem wodoru, ale nie w porównaniu z jego masą, tylko ilością jego atomów. Na koniec najniższa krzywa to przewidziana obfitość litu, znowu w porównaniu z ilością atomów wodoru.

Przewidziane obfitości ukazano jako funkcje gęstości normalnej materii (zbudowanej z atomów) zakładanej dla obecnego Wszechświata. Jeśli dla ukazanych gęstości nie otrzymalibyśmy obfitości pierwiastków odpowiadających danym obserwacyjnym, byłby to bardzo silny dowód na to, że nie powstały w gorącym Wielkim Wybuchu. Zauważmy przy tym, że przewidziane obfitości tych pierwiastków różnią się o dziesięć rzędów wielkości.

Niezacieniowane prostokąty przypisane każdej z krzywych określają dozwolony zakres oszacowanych pierwotnych obfitości tych pierwiastków oparty na obserwacjach starych gwiazd i gorącego gazu, z naszej galaktyki i poza nią.

Pionowa zacieniowana wstęga wyznacza obszar, w którym wszystkie przewidywania i obserwacje *są* ze sobą zgodne. Trudno sobie wyobrazić bardziej konkretne potwierdzenie modelu gorącego Wielkiego Wybuchu, w którym powstały lekkie pierwiastki, niż ta zgodność między przewidywaniami i danymi z obserwacji, a przy tym dla wartości zmieniających się w granicach dziesięciu rzędów wielkości.

Warto z jeszcze większą mocą powtórzyć wnioski wynikające z tej niezwykłej zgodności. Tylko w pierwszych sekundach gorącego Wielkiego Wybuchu mogły zajść reakcje wytwarzające taką właśnie obfitość lekkich pierwiastków, wodoru, deuteru, helu i litu, która stanowi zasadniczy budulec gwiazd współcześnie zapełniających całe nocne niebo. Z początkowej obfitości protonów i neutronów w końcu powstała gęstość materii bardzo bliska obserwowanej obecnie w galaktykach, a pozostałość początkowej gęstości promieniowania dokładnie odpowiada obserwowanemu obecnie natężeniu kosmicznego promieniowania tła.

Jak powiedziałby Einstein, tylko bardzo złośliwy Bóg (co dla niego było niewyobrażalne) mógłby stworzyć Wszechświat tak jednoznacznie wskazujący na Wielki Wybuch, do którego nigdy by nie doszło.

W istocie, gdy w latach sześćdziesiątych XX wieku wykazano pobieżną zgodność między zmierzoną obfitością helu a jej przewidywaną wartością w modelu Wielkiego Wybuchu, Wielki Wybuch osiągnął przewagę nad popularnym w tamtych czasach modelem stanu stacjonarnego wszechświata Freda Hoyle'a i jego kolegów.

Jednak w dalekiej przyszłości wszystko będzie wyglądać inaczej. Gwiazdy spalą wodór i zaczną produkować hel. Od czasu Wielkiego Wybuchu tylko 15 procent helu obserwowanego we Wszechświecie powstało w gwiazdach – i jest to jeszcze jeden argument nie do odparcia przemawiający za tym, że Wielki Wybuch był niezbędny, aby stworzyć to, co teraz obserwujemy. W bardzo odległej przyszłości natomiast wszystko się zmieni, ponieważ będzie wtedy żyć i umierać wiele późniejszych generacji gwiazd.

Gdy Wszechświat będzie miał bilion lat, znacznie więcej helu będzie pochodzić z gwiazd niż z Wielkiego Wybuchu. Ta sytuacja ukazana jest na poniższym rysunku.

Gdy 60 procent widocznej materii we Wszechświecie będzie stanowić hel, niepotrzebne stanie się założenie o jego produkcji w gorącym Wielkim Wybuchu, aby otrzymać zgodność z obserwowaną jego obfitością.

Mimo to obserwatorzy i teoretycy w jakichś cywilizacjach z dalekiej przyszłości będą mogli z tych danych wysnuć wniosek o skończonym wieku Wszechświata. Ponieważ gwiazdy spalają wodór w hel, istnieje górna granica czasu ich istnienia związana z tym, że stosunek wodoru do helu nie może dowolnie się zmniejszyć. Stąd przyszli uczeni oszacują, że Wszechświat, w jakim przyszło im żyć, ma mniej niż bilion lat. Niemniej nie będzie już żadnej bezpośredniej sygnatury tego, że miał on początek w Wielkim Wybuchu, a nie w jakiejś innej spontanicznej kreacji naszej przyszłej pojedynczej metagalaktyki.

Pamiętajmy, że Lemaître swoje twierdzenie o Wielkim Wybuchu oparł tylko na wnioskowaniu w ramach ogólnej teorii względności Einsteina. Możemy przyjąć, że w odległej przyszłości każda zaawansowana cywilizacja odkryje ogólne prawa fizyki, a w tym elektromagnetyzmu, mechaniki kwantowej oraz te związane z fizyką relatywistyczną. Czy jakiś Lemaître z odległej przyszłości potrafi dojść do podobnych wniosków?

Konkluzja Lemaître'a o tym, że Wszechświat musiał rozpocząć swe istnienie w Wielkim Wybuchu, była nieunikniona, ale oparta na założeniu, które nie będzie prawdziwe w wypadku Wszechświata w tak odległej przyszłości. Wszechświat, który jest izotropowy i jednorodny, o materii jednorodnie rozłożonej we wszystkich kierunkach, nie może być statyczny z powodów, które dostrzegł Lemaître i w końcu sam Einstein. Jednak istnieje całkiem dobre rozwiązanie równań Einsteina dla pojedynczego masywnego układu otoczonego przez pustą i statyczną przestrzeń. W końcu jeśliby takiego rozwiązania nie było, to ogólna teoria względności nie byłaby zdolna opisywać izolowanych obiektów, takich jak gwiazdy neutronowe albo czarne dziury.

Wielkie skupiska masy, jak nasza Galaktyka, są niestabilne, a więc nasza metagalaktyka zapadnie się grawitacyjnie w sobie, tworząc masywną czarną dziurę. Opisuje to statyczne rozwiązanie równań Einsteina zwane rozwiązaniem Schwarzschilda. Na szczęście czas wymagany dla takiego kolapsu grawitacyjnego z wytworzeniem czarnej dziury jest znacznie dłuższy niż okres, w którym zniknie reszta Wszechświata. Dlatego uczeni z przyszłości będą mogli przypuszczać, że nasza Galaktyka przez bilion lat istniała w pustej przestrzeni bez znaczącego kolapsu grawitacyjnego i bez potrzeby rozszerzania się otaczającej ją przestrzeni.

Oczywiście wiadomo, że rozważania o przyszłości są niesłychanie trudne. Piszę te słowa, przebywając na Światowym Forum Ekonomicznym w Davos, które pełne jest ekonomistów niezmiennie przewidujących zachowanie rynków i rewidujących swe prognozy, gdy okazują się zupełnie nietrafione. Ogólnie jakiekolwiek przewidywania dotyczące nauki i technologii w odległej przyszłości, a nawet tej nie całkiem odległej, traktuję jako jeszcze bardziej

mgliste niż wizje ekonomistów. A wręcz, ilekroć ktoś pyta mnie o przyszłość nauki albo co będzie następnym przełomem naukowym, zawsze odpowiadam, że gdybym wiedział, to już teraz bym nad tym pracował!

Chciałbym więc, aby obraz ukazany w tym rozdziale był czymś w rodzaju wizji przyszłości przedstawionej przez trzecią zjawę z *Opowieści wigilijnej* Karola Dickensa. To przyszłość taka, jaka *może być*. W końcu ponieważ nie wiemy, czym jest ciemna energia przenikająca pustą przestrzeń, nie możemy też być pewni, że będzie ona miała takie własności jak stała kosmologiczna Einsteina, i jej gęstość pozostanie wiecznie stała. Jeśli nie pozostanie, przyszłość Wszechświata może być zupełnie inna. Ekspansja nie musi być stale przyspieszana, lecz kiedyś może znowu zwolnić, co spowoduje, że odległe galaktyki nie znikną. Mogą wtedy pojawić się jakieś nowe fakty obserwacyjne, o których dzisiaj nie mamy pojęcia, a które dostarczą astronomom z przyszłości dowodów na to, że kiedyś jednak nastąpił Wielki Wybuch.

Niemniej na podstawie wszystkiego, co wiemy obecnie o Wszechświecie, wersja przyszłości, jaką naszkicowałem, jest najbardziej prawdopodobna i warto się zastanowić, czy logika, umysł i dane empiryczne pozwolą przyszłym badaczom na odkrycie prawdziwej natury Wszechświata, czy też pozostanie ona ukryta poza horyzontem. Badając podstawowe oddziaływania przyrody i cząstki elementarne, niektórzy wybitni uczeni dalekiej przyszłości mogliby stworzyć model wskazujący na to, że inflacja musiała zajść dawno temu albo że pusta przestrzeń musi mieć energię, co wyjaśniłoby, dlaczego wewnątrz horyzontu nie ma innych galaktyk. Nie jestem jednak co do tego przekonany.

W końcu fizyka jest nauką empiryczną, opartą na eksperymencie i obserwacji. Gdybyśmy za pomocą obserwacji nie wykryli istnienia ciemnej energii, to wątpię, czy jakikolwiek teoretyk miałby tyle śmiałości, aby w takiej sytuacji sugerować jej istnienie. A chociaż można sobie wyobrazić istnienie śladów wskazujących, że błędny jest obraz pojedynczej galaktyki w statycznym wszechświecie, niezapoczątkowanym Wielkim Wybuchem – na przykład gdy obserwacje obfitości pierwiastków wykażą anomalie – to brzytwa

Ockhama zasugeruje jako prawdziwe najprostsze wyjaśnienie, a wtedy obecność owych anomalii może zostać zinterpretowana jako efekt lokalny.

Od kiedy Bob Scherrer i ja zwróciliśmy uwagę na to, że w odległej przyszłości naukowcy, korzystając z falsyfikowalnych danych i modeli – co samo w sobie jest wzorem dobrej nauki – będą mogli dojść do błędnego obrazu Wszechświata, wielu naszych kolegów starało się zaproponować sposób wykazania tego, że Wszechświat będzie się rozszerzał w odległej przyszłości. Ja też mogę wyobrazić sobie takie eksperymenty, ale wydaje mi się, że nie są dobrze umotywowane.

Na przykład można z naszej Galaktyki wystrzelić jasne gwiazdy w głęboką przestrzeń, poczekać około miliarda lat, aż eksplodują, określić szybkość ich ucieczki w funkcji odległości, jaką osiągnęły, zanim doszło do eksplozji, i przekonać się, czy nie otrzymały one dodatkowego impulsu związanego z ekspansją przestrzeni. Trudna sprawa, ale nawet gdybyśmy wyobrazili sobie sposób, w jaki mogłoby się to udać, to nie mam pewności, czy Narodowa Fundacja Nauki w odległej przyszłości wyłoży środki na eksperyment, nie mając przynajmniej innego dowodu rozszerzania się przestrzeni. I nawet gdyby jakimś cudem udało się wystrzelić w sposób naturalny gwiazdy z naszej Galaktyki i obserwować je w czasie ich ruchu ku horyzontowi, to nie jest oczywiste, że stwierdzenie anomalnego przyspieszenia niektórych z tych obiektów będzie interpretowane za pomocą tak śmiałej i zadziwiającej propozycji, że Wszechświat się rozszerza i jest zdominowany przez ciemną energię.

Możemy uważać, że to szczęście żyć w obecnych czasach. Albo jak Bob i ja ujęliśmy to w jednym z naszych artykułów: „Żyjemy w bardzo szczególnym czasie… w jedynym, gdy obserwacyjnie możemy potwierdzić, że żyjemy w bardzo szczególnym czasie!”.

Chcieliśmy być dowcipni, ale myśl, że można posługiwać się najlepszymi urządzeniami obserwacyjnymi i metodami teoretycznymi, a mimo to otrzymać zupełnie fałszywy obraz Wszechświata w skali kosmicznej, działa bardzo otrzeźwiająco.

Muszę jednak zauważyć, że nawet jeśli niepełne dane *mogą* prowadzić do fałszywego wniosku, to jest to zupełnie inna sytuacja niż wyciąganie fałszywych wniosków na skutek ignorowania danych

empirycznych w celu stworzenia obrazu kreacji, który w przeciwnym razie przeczyłby rzeczywistości (na przykład Towarzystwo Płaskiej Ziemi), albo gdy potrzebne jest istnienie czegoś, co zupełnie nie jest obserwacyjnie potwierdzone (na przykład boska inteligencja) tylko po to, aby kreacja była zgodna z założonymi z góry przesądami, albo co jeszcze gorsze, gdy daje się wiarę bajeczkom o naturze, które przynoszą odpowiedzi, nawet zanim pytania zostaną zadane. Przynajmniej uczeni z dalekiej przyszłości będą opierać swe badania na dostępnych im dowodach, zdając sobie jednak sprawę, jak my wszyscy czy przynajmniej naukowcy, że nowe dowody mogą zawsze prowadzić do zmiany obrazu rzeczywistości.

Do tego warto jeszcze dodać, że dzisiaj może już nie istnieć coś, co mogło być obserwowalne, gdybyśmy żyli dziesięć miliardów lat temu, albo co moglibyśmy zaobserwować, gdybyśmy żyli sto miliardów lat później. Niemniej warto podkreślić, że model Wielkiego Wybuchu ma zbyt solidne wsparcie danych z różnych obszarów, aby dowodzić, że jego podstawowe założenia są błędne. Gdyby jednak pojawiły się nowe dane, z łatwością można będzie zaproponować nową interpretację pewnych szczegółów z odległej przeszłości albo tego, co ma nastąpić w odległej przyszłości bądź detali dotyczących nawet źródła Wielkiego Wybuchu i jego niepowtarzalnego charakteru. Wierzę, że do tego dojdzie. Możliwy koniec życia i inteligencji we Wszechświecie w przyszłości skłania do refleksji, że powinniśmy wykazywać coś w rodzaju kosmicznej pokory, formułując twierdzenia dotyczące Wszechświata, nawet jeśli jest to trudne dla kosmologów.

Tak czy owak kryje się w tym jakaś znana z poezji symetria, bo scenariusz, jaki nakreślam, jest w połowie tragiczny. W bardzo odległej przyszłości uczeni stworzą obraz Wszechświata podobny do tego z początku ubiegłego wieku, obraz, który stał się katalizatorem badań prowadzących do obecnej rewolucji w kosmologii. Kosmologia będzie musiała zatoczyć pełne koło. To niezwykłe, nawet jeśli dla kogoś może oznaczać bezsens naszej krótkiej chwili pod Słońcem.

Mimo wszystko ukazana przyszłość kosmologii ilustruje fundamentalny problem, mianowicie do zbadania mamy tylko jeden wszechświat – ten, w którym żyjemy. Musimy go badać, jeśli chcemy mieć jakąś nadzieję na zrozumienie, w jaki sposób powstało to

wszystko, co obserwujemy. Mamy jednak ograniczone możliwości wyboru tego, co chcemy obserwować, oraz ograniczone możliwości interpretacji danych z obserwacji.

Jeśli istnieje wiele wszechświatów i w jakiś sposób moglibyśmy badać więcej niż jeden, wtedy moglibyśmy się dowiedzieć, które obserwacje są w istocie ważne i podstawowe, a które pojawiły się tylko jako zbieg okoliczności.

Jak się później dowiemy, o ile mało prawdopodobna jest ta ostatnia możliwość, o tyle poprzednia już nie i uczeni prą do przodu z nowymi doświadczeniami i nowymi propozycjami, aby pogłębić naszą wiedzę o nieoczekiwanych i dziwnych własnościach Wszechświata.

Zanim przejdziemy dalej, warto zakończyć bardziej literackim obrazem przyszłości mającym proste odniesienie do tematu tej książki. Chodzi mi o reakcję Christophera Hitchensa na scenariusz tu opisany. Oto co powiedział „tym, którzy uważają za niezwykłe życie we Wszechświecie z Czegoś. Tylko poczekajcie. Nicość już zmierza ku nam kursem kolizyjnym!”.

# Rozdział 8

# Wielki przypadek?

*Jeśli założymy istnienie stwórcy i jego planu, to stajemy się obiektem okrutnego eksperymentu, w którym stworzono nas chorych i przykazano wyzdrowieć.*

Christopher Hitchens

Jesteśmy stworzeni w taki sposób, że wydaje się, iż wszystko, co nam się zdarza, ma znaczenie i sens. Śni się nam w nocy, że przyjaciółka łamie sobie rękę, a następnego dnia okazuje się, że ma skręconą kostkę. O rany! Co za zdolność jasnowidzenia!

Fizyk Richard Feynman uwielbiał mówić ludziom: „Nie uwierzycie, co zdarzyło mi się dzisiaj! No po prostu nie uwierzycie!". A gdy dopytywali się, co się stało, mówił wtedy: „Absolutnie nic!". Chciał przez to pokazać, że gdy coś się zdarza, jak sen opisany wyżej, ludzie starają się nadać temu jakieś znaczenie, zapominają natomiast o swych niezliczonych, pozbawionych sensu snach, które absolutnie nic nie przewidywały. Dzięki niezwracaniu uwagi na to, że przez większość czasu nie zachodzi nic godnego uwagi, błędnie odczytujemy naturę prawdopodobieństwa, gdy zdarza się coś istotnego. Wśród wystarczająco wielu zdarzeń coś niezwykłego musi się po prostu przypadkowo wydarzyć.

W jaki sposób dotyczy to naszego Wszechświata?

Aż do odkrycia, że energia pustej przestrzeni nie jest równa zeru, lecz ma wartość 120 rzędów wielkości mniejszą, niż sugerują oszacowania w ramach fizyki cząstek elementarnych, wśród fizyków

panowało przekonanie, że każdy podstawowy parametr, jaki w przyrodzie zmierzyliśmy, ma jakieś znaczenie. Mam tu na myśli to, że opierając się w jakiś sposób na zasadach podstawowych, w końcu będziemy mogli zrozumieć na przykład, dlaczego grawitacja jest słabsza od innych oddziaływań przyrody, dlaczego proton jest dwa tysiące razy bardziej masywny niż elektron i dlaczego istnieją trzy rodziny cząstek elementarnych. Ujmując rzecz inaczej: gdy już zrozumiemy podstawowe prawa rządzące oddziaływaniami w najmniejszej skali, to tym samym rozwiązane zostaną wszystkie owe zagadki jako naturalne konsekwencje tych praw.

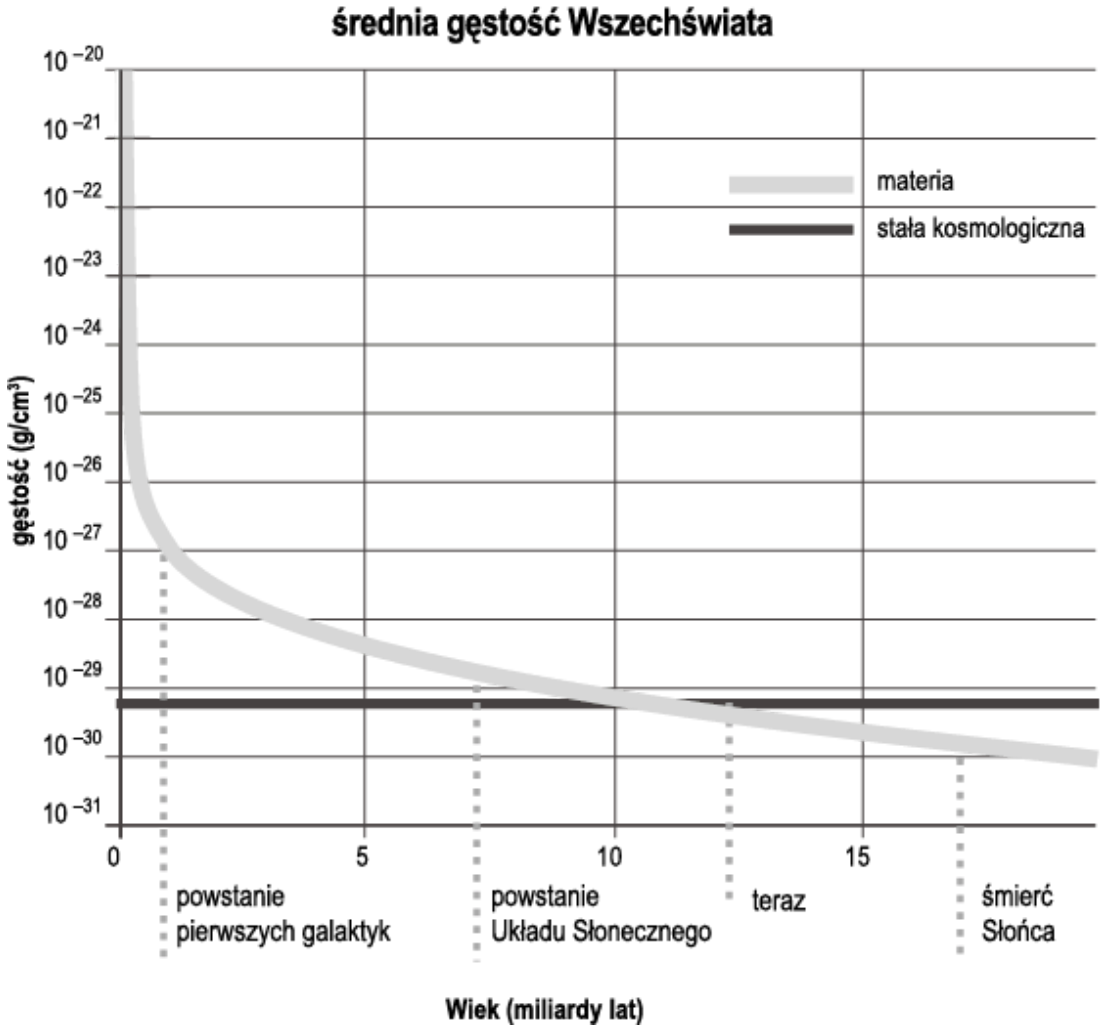
(Z kolei czysto religijny argument może wzmocnić to znaczenie aż do ekstremu za pomocą sugestii, że każda z podstawowych stałych odgrywa istotną rolę, ponieważ przypuszczalnie Bóg spowodował, iż mają one takie, a nie inne wartości w ramach boskiego planu dla Wszechświata. W takim razie nic nie jest już dziełem przypadku, ale z tego samego powodu nic też nie można przewidzieć ani wyjaśnić. To rozumowanie prowadzi donikąd i nie wnosi żadnej użytecznej wiedzy o oddziaływaniach we Wszechświecie, być może tylko daje pocieszenie wierzącemu).

Mimo to odkrycie, że pusta przestrzeń ma energię, spowodowało zmianę sposobu myślenia wielu fizyków na temat tego, czego wymaga natura, a co może być przypadkowe.

Katalizatorem tego nowego sposobu myślenia jest argumentacja, jaką przedstawiłem w poprzednim rozdziale – otóż możemy obecnie zmierzyć ciemną energię, ponieważ „teraz" to jedyny moment w historii Wszechświata, gdy gęstość energii pustej przestrzeni jest porównywalna z gęstością energii zawartej w materii.

Ale dlaczego żyjemy w tak „szczególnym" okresie historii Wszechświata? Istotnie jest to sprzeczne z przekonaniem, które cechowało naukę od czasów Kopernika. Nauczyliśmy się, że Ziemia nie stanowi centrum Układu Słonecznego, a Słońce jest gwiazdą położoną na peryferiach Galaktyki, która z kolei jest jedną z około czterystu miliardów innych galaktyk w obserwowalnej części Wszechświata. Zaakceptowaliśmy „zasadę kopernikańską" mówiącą o tym, że nie ma nic szczególnego w naszym położeniu i czasie egzystencji we Wszechświecie.

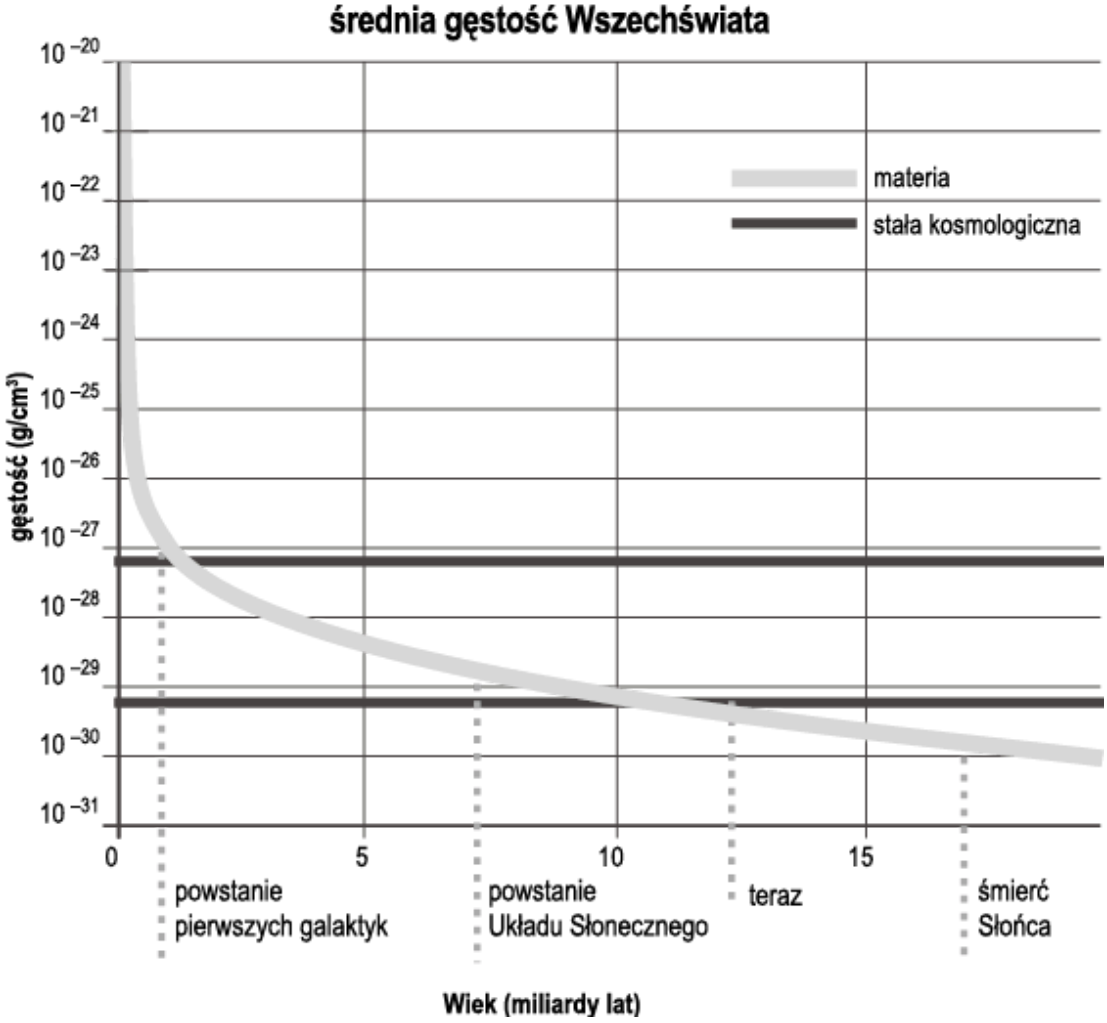
Tymczasem energia pustej przestrzeni, taka, jaka jest, sprawia, że *żyjemy* w szczególnym okresie. Najlepiej ukazuje to ilustrowana „krótka historia czasu”.




Obie linie przedstawiają gęstość energii, jedna – całej materii we Wszechświecie, a druga – pustej przestrzeni (zakładając, że energia ta jest stałą kosmologiczną) jako funkcje czasu. Jak można zobaczyć, gęstość energii materii zmniejsza się w czasie ekspansji Wszechświata (bo odległość między galaktykami staje się coraz większa i stąd materia coraz bardziej się „rozrzedza”). Jednak gęstość energii pustej przestrzeni pozostaje stała, ponieważ, jak można by zauważyć, w pustej przestrzeni nie ma się co rozrzedzać!

(Albo, już mniej zabawnie, ująć to tak: Wszechświat wykonuje pracę nad pustą przestrzenią podczas ekspansji). Obie krzywe przecinają się względnie blisko czasów obecnych, co stanowi źródło osobliwego zbiegu okoliczności, o jakim pisałem.

A teraz zobaczmy, co stałoby się, gdyby energia pustej przestrzeni była, powiedzmy, pięćdziesiąt razy większa niż dzisiaj. Wówczas dwie krzywe przecięłyby się w innym momencie, jak pokazano na poniższym rysunku.




Epoka, w której obie krzywe teraz się przecinają, to czas, gdy formowały się pierwsze galaktyki, około miliarda lat po Wielkim Wybuchu. Pamiętajmy jednak, że energia pustej przestrzeni ma odpychające działanie grawitacyjne. Jeśli zdominowałaby energię

Wszechświata, zanim uformowały się galaktyki, to jej odpychające oddziaływanie przeważyłoby (dosłownie) normalne oddziaływanie przyciągające, które powoduje, że materia się skupia. I w rezultacie galaktyki nigdy by się nie sformowały!

A gdyby się nie sformowały galaktyki, to nie powstałyby także gwiazdy. A gdyby nie było gwiazd, to planet także by nie było. A gdyby nie było planet, to także nie byłoby astronomów!

Tak więc we Wszechświecie mającym gęstość energii pustej przestrzeni pięćdziesiąt razy większą nie byłoby dzisiaj nikogo, kto mógłby zmierzyć tę gęstość.

Czy może to coś nam sugerować? Wkrótce po odkryciu rozszerzania się Wszechświata fizyk Steven Weinberg, opierając się na argumentacji, którą przedstawił dziesięć lat wcześniej, czyli zanim odkryto ciemną energię, zaproponował, że „problem zbiegu okoliczności" udałoby się rozwiązać, jeśli wartość stałej kosmologicznej zostałaby odpowiednio dobrana w jakiś „antropiczny" sposób. To znaczy, jeśli z jakiegoś powodu istniałoby wiele wszechświatów, a w każdym z nich gęstość energii przyjmowałaby wartość z jakiegoś losowego rozkładu wszystkich możliwych energii, to w tych wszechświatach, w których wartość energii jest bliska tej, jaką mierzymy obecnie, mogłoby wyewoluować życie w naszym rozumieniu. Tak więc może znajdujemy się we wszechświecie z bardzo małą energią pustej przestrzeni, ponieważ nie moglibyśmy żyć w innym, cechującym się energią znacznie większą. Ujmijmy to inaczej. Nie ma nic dziwnego w tym, że żyjemy we wszechświecie, w którym możemy żyć!

Argument ten ma sens matematyczny, tylko jeśli istnieje prawdopodobieństwo tego, że powstało wiele różnorodnych wszechświatów. Mówienie o wielu różnych wszechświatach może wydawać się oksymoronem. W końcu tradycyjnie pojęcie wszechświata stało się synonimem „wszystkiego, co istnieje".

Jednak całkiem niedawno pojęcie *wszechświata* nabrało prostszego, zapewne bardziej praktycznego znaczenia. Teraz mówi się o „naszym" Wszechświecie jako całości tego, co możemy obecnie zobaczyć i co będziemy kiedykolwiek mogli zobaczyć. Dlatego

fizycznie nasz Wszechświat zawiera wszystko, co kiedyś mogło mieć na nas wpływ albo co może mieć kiedykolwiek jakiś wpływ.

Gdy dokonamy takiej definicji wszechświata, istnienie innych „wszechświatów" – które zawsze były i będą przyczynowo rozłączne z naszym, jak wyspy rozdzielone oceanem przestrzeni i pozbawione komunikacji ze sobą – staje się możliwe, przynajmniej w zasadzie.

Nasz Wszechświat jest tak ogromny, że jak już podkreślałem, nawet coś niemożliwego musi się gdzieś w nim zdarzyć. Rzadkie zdarzenia zachodzą cały czas. Można się zastanawiać, czy ta sama zasada stosuje się do prawdopodobieństwa istnienia wielu światów albo *wieloświata*, jak teraz ten pomysł się nazywa. Okazuje się, że teoretyczne podstawy takich twierdzeń są znacznie mocniejsze niż po prostu prawdopodobieństwo istnienia. Wiele bardzo istotnych pomysłów w dziedzinie teorii cząstek elementarnych, pomysłów, które inspirują obecną działalność naukową w tej dziedzinie, wymaga istnienia wieloświata.

Chcę to podkreślić, ponieważ w dyskusjach z tymi, którzy czują potrzebę istnienia stwórcy, istnienie wieloświata jest postrzegane jako wykręt zastosowany przez fizyków, którym zabrakło już odpowiedzi – albo może nawet pytań. Ostatecznie może być to prawda, ale na razie nie jest. Prawie każda logicznie uzasadniona próba rozszerzenia praw fizycznych na skale bardzo małe i stworzenia jeszcze bardziej fundamentalnej teorii wskazuje na to, że w bardzo wielkich skalach nasz Wszechświat nie jest jedyny.

Zjawisko inflacji może stanowić przykład być może pierwszego i najlepszego racjonalnego uzasadnienia. W obrazie inflacyjnym podczas fazy, w której olbrzymia energia tymczasowo dominuje w jakimś regionie, zaczyna on się rozszerzać wykładniczo. W pewnym momencie w trakcie przemiany fazowej mała objętość wewnątrz tej „fałszywej próżni" może zaprzestać inflacji, wówczas pole w niej zawarte powraca do swej prawdziwej i niższej energii, a ekspansja przestrzeni nie jest już w niej wykładnicza. Natomiast przestrzeń *pomiędzy* takimi regionami będzie nadal rozszerzać się wykładniczo. Cały czas, aż do momentu zakończenia przejścia fazowego w całej przestrzeni, prawie cała jej objętość podlega gwałtownej inflacji. Ta poddana inflacji część przestrzeni

odseparowuje regiony, które już zakończyły inflację, o niewyobrażalnie ogromne odległości. Wygląda to podobnie jak lawa wylewająca się z wulkanu. Część lawy oziębia się i zastyga w postaci skał, które następnie zostają rozrzucone w dużych odległościach od siebie na skutek dryfowania w morzu płynnej magmy.

Sytuacja może być nawet jeszcze trudniejsza. Andriej Linde, który razem z Alanem Guthem jest głównym architektem współczesnej teorii inflacji, przedstawił i zbadał w 1986 roku jeszcze bardziej ogólny scenariusz. W pewnym sensie pomysł ten wcześniej już rozważał inny zdolny rosyjski kosmolog pracujący w Stanach Zjednoczonych, Alex Vilenkin. Obaj, Linde i Vilenkin, odznaczają się pewnością siebie, jaka cechuje rosyjskich fizyków, ale ich losy potoczyły się zupełnie inaczej. Linde brylował wśród starej elity sowieckich fizyków, zanim po upadku ZSRR wyemigrował do Stanów Zjednoczonych. Arogancki, błyskotliwy i zabawny, zdominował w tym czasie kosmologię cząstek elementarnych. Vilenkin opuścił ojczyznę znacznie wcześniej, zanim został fizykiem. W Związku Sowieckim zmuszony był do wykonywania różnych prac, był nawet stróżem nocnym, gdyż został przez KGB umieszczony na czarnej liście i nie mógł ukończyć studiów. I chociaż zawsze interesował się kosmologią, przypadkiem wstąpił nie na tę uczelnię co trzeba, gdy chciał dokończyć studia magisterskie, i w rezultacie robił doktorat z fizyki fazy skondensowanej. Następnie po doktoracie otrzymał etat na Uniwersytecie Case Western Reserve, na którym później ja objąłem katedrę fizyki. Vilenkin poprosił swego szefa, Philipa Taylora, aby poza swymi zwykłymi obowiązkami kilka dni w tygodniu mógł pracować nad zagadnieniami kosmologicznymi. Philip powiedział mi kiedyś, że nawet obciążony tą dodatkową pracą Alex był jednym z najbardziej twórczych młodych naukowców, jakich miał pod swoją opieką.

Linde dostrzegł, że chociaż podczas inflacji fluktuacje kwantowe mogą wepchnąć pole, będące jej siłą napędową, do jego najniższego stanu energetycznego i tym samym zapewnić zgrabne zakończenie całego procesu, to istnieje zawsze prawdopodobieństwo, iż w jakichś regionach fluktuacje kwantowe spowodują przejście pola do jeszcze

wyższego stanu energetycznego, a więc z dala od wartości kończącej inflację, i dlatego nie będzie ona słabnąć. A ponieważ takie regiony będą się rozszerzać przez dłuższe okresy, to przestrzeni rozszerzającej się będzie znacznie więcej niż tej, która się nie rozszerza. Fluktuacje kwantowe wewnątrz tych regionów znowu zakończą inflację w pewnych podregionach, ale pozostaną nadal odległe regiony, gdzie będą one dalej podtrzymywać inflację. I wciąż tak bez końca.

Ten obraz Linde nazwał „inflacją chaotyczną", ponieważ przypomina pewne ziemskie układy chaotyczne, na przykład gotującą się owsiankę. W każdym punkcie powierzchni powstaje pękający pęcherzyk gazu ujawniający obszar, w którym ciecz o wysokiej temperaturze przechodzi transformację fazową w parę. A pomiędzy bąbelkami płynie owsianka. W dużej skali obserwuje się pewną regularność – w różnych miejscach powierzchni wyskakują pęcherzyki. Natomiast lokalnie sytuacja wygląda zupełnie inaczej, zależy, gdzie się popatrzy. Tak samo będzie się działo we Wszechświecie w trakcie chaotycznej inflacji. Jeśli znajdziemy się w „pęcherzyku" prawdziwego stanu podstawowego, w którym zakończyła się inflacja, to nasz Wszechświat będzie się wydawał zupełnie odmienny od ogromnej otaczającej nas przestrzeni, która wciąż będzie podlegała inflacji.

W tym obrazie inflacja jest wieczna. Pewne regiony, a właściwie większość przestrzeni, będą rozszerzać się w wieczność. Te zaś, które zakończyły inflację, staną się odseparowanymi, przyczynowo rozłącznymi wszechświatami. Chcę podkreślić, że wielowświat jest *nieunikniony*, jeśli inflacja jest wieczna, a wieczna inflacja jest najbardziej prawdopodobna w większości scenariuszy inflacyjnych – jeśli nie we wszystkich. Linde tak to ujął w pracy z 1986 roku:

> Stare pytanie, dlaczego nasz Wszechświat jest tym jedynym istniejącym, zastąpiono pytaniem, w którym dopuszcza się teorie istnienia miniwszechświatów naszego typu. Jest to nadal bardzo trudne zagadnienie, ale znacznie łatwiejsze od poprzedniego. Naszym zdaniem najważniejszą

konsekwencją rozwoju inflacyjnego scenariusza Wszechświata jest modyfikacja poglądu na globalną strukturę Wszechświata i na nasze miejsce w świecie.

Jak podkreśla Linde, i co stało się już oczywiste, ten obraz otwiera także przed fizyką kolejne nowe perspektywy. Oczywiście może być tak, że jest wiele kwantowych stanów Wszechświata o niskiej energii, do których w końcu mógłby przejść rozszerzający się Wszechświat. Ponieważ jednak konfiguracja kwantowych stanów tych pól będzie się bardzo różnić w każdym z takich regionów, to charakter podstawowych praw fizyki w każdym takim regionie/wszechświecie może okazać się inny.

Powstaje tu pierwszy „krajobraz", w którym antropiczna argumentacja, sformułowana wcześniej, mogłaby odegrać jakąś rolę. Jeśli istnieje wiele różnych stanów, w których nasz Wszechświat mógłby się znaleźć po inflacji, to być może ten, w którym żyjemy i w którym energia próżni jest tak mała, że mogły powstać galaktyki, jest właśnie tym z potencjalnie nieskończonej rodziny, jaki wybrano dla dociekliwych uczonych, ponieważ umożliwia on istnienie galaktyk, gwiazd, planet i życia.

Pojęcie „krajobrazu" po raz pierwszy nie pojawiło się jednak w tym kontekście. Wylansowała je znacznie bardziej efektywna machina marketingowa związana z molochem, zwanym teorią strun, który w ostatnim ćwierćwieczu zawładnął teorią cząstek elementarnych. Teoria strun zakłada, że cząstki elementarne są zbudowane z bardziej fundamentalnych składowych, nie cząstek, ale obiektów, które zachowują się jak drgające struny. Podobnie jak drgające struny skrzypiec mogą tworzyć różne tony, tak tutaj różne typy drgań tworzą obiekty, które w zasadzie mogłyby zachowywać się jak wszystkie typy cząstek elementarnych występujących w przyrodzie. Jest jednak haczyk, matematycznie bowiem teoria ta nie jest spójna w czterech wymiarach; by miała jakiś sens fizyczny, wymaga stosowania większej ich liczby. Niemniej co stało się z innymi wymiarami, nie jest już tak oczywiste, oczywiste nie jest także to, jakie inne obiekty oprócz strun mogą być istotne w teorii – to tylko

niektóre z nierozwiązanych problemów chłodzących początkowy entuzjazm, z jakim spotkała się ta idea.

Nie miejsce tutaj na szczegółowy przegląd teorii strun i być może nawet nie jest on możliwy, ponieważ jedno stało się jasne w ciągu tych dwudziestu pięciu lat. To, co nazwano teorią strun, w sposób oczywisty jest czymś o wiele bardziej rozbudowanym, skomplikowanym, którego istotę wciąż skrywa zasłona tajemnicy.

Nie mamy wciąż pewności, czy ten niezwykły teoretyczny gmach ma coś wspólnego z realnym światem. Pomimo to żadna teoria nigdy nie przeniknęła do świadomości środowiska fizyków z tak wielkim sukcesem, nie dając przy tym dowodu swych możliwości, na przykład przez rozwiązanie choćby jednej eksperymentalnej zagadki natury.

Wielu ludzi uznałoby ostatnie zdanie za krytykę teorii strun, ale chociaż w przeszłości przypięto mi taką łatkę, to tutaj takich intencji nie mam ani nie miałem w licznych wykładach i debatach publicznych z moim przyjacielem Brianem Greene'em, głównym rzecznikiem teorii strun. Myślę, że warto przebić się przez ten cały szum i zejść na ziemię. Teoria strun zawiera fascynujące idee i metody matematyczne mogące rzucić światło na jedną z najbardziej fundamentalnych niespójności fizyki teoretycznej – niemożność sformułowania ogólnej teorii względności łącznie z prawami mechaniki kwantowej, aby uzyskać mające fizyczny sens przewidywania dotyczące Wszechświata w najmniejszej skali.

Napisałem całą książkę o tym, jak teoria strun próbowała przechytrzyć ten problem, ale nam potrzebne jest tylko krótkie podsumowanie. Zasadniczy postulat można prosto sformułować, lecz trudno urzeczywistnić. W bardzo małej skali, takiej, w której po raz pierwszy napotkamy problemy grawitacji kwantowej, podstawowe struny mogą być zamkniętymi pętlami. Pośród zbioru wzbudzeń takich pętli zawsze istnieje jedno mające własności cząstki, która w teorii kwantów przekazuje siłę grawitacji – grawitonu. Tym samym teoria kwantów tych strun wyznacza w zasadzie podstawy, na których może zostać stworzona prawdziwa kwantowa teoria grawitacji.

Jak można oczekiwać, taka teoria mogłaby uniknąć nieskończoności pojawiających się w standardowym kwantowym podejściu do grawitacji. Pojawia się jednak drobna komplikacja. W najprostszej wersji teorii takich nieskończoności można uniknąć, tylko gdy struny drgają nie w trzech wymiarach przestrzennych i jednym czasowym, ale w dwudziestu sześciu wymiarach!

Można by oczekiwać, że taki skok złożoności (i być może koniecznej głębokiej wiary) wystarczyłby, aby większość fizyków odrzuciła taką teorię, ale w połowie lat osiemdziesiątych piękne matematyczne prace wielu badaczy, a głównie Edwarda Wittena z Institute for Advanced Study, wykazały, że może być ona czymś znacznie więcej niż tylko kwantową teorią grawitacji. Dzięki wprowadzeniu nowych matematycznych symetrii, a głównie niezwykle skutecznego aparatu matematycznego zwanego „supersymetrią", możliwa się stała redukcja wymiarów niezbędnych dla spójności teorii tylko do dziesięciu.

A co jeszcze ważniejsze, w kontekście teorii strun ujrzano możliwość unifikacji w jedną teorię grawitacji wraz z innymi oddziaływaniami oraz możliwość wyjaśnienia, dlaczego istnieje każda z cząstek elementarnych! W końcu wydawało się, że możliwe jest stworzenie jednej zunifikowanej teorii w dziesięciu wymiarach, która wyjaśniałaby wszystko, co widzimy w naszym czterowymiarowym świecie.

Twierdzenia o powstaniu „teorii wszystkiego" zaczęły się rozpowszechniać nie tylko w literaturze naukowej, ale także w mediach. W rezultacie więcej osób jest obeznanych z „superstrunami" niż z „nadprzewodnictwem" – które polega na tym, że pewne materiały schłodzone do bardzo niskich temperatur mogą przewodzić prąd bez oporu. A to przecież nie tylko jedna z najbardziej niezwykłych własności materii, ale również taka, która pozwoliła lepiej zrozumieć jej kwantowy charakter.

Niestety ostatnie dwadzieścia pięć lat nie były łaskawe dla teorii strun. Gdy najzdolniejsi teoretycy świata zaczęli się nią zajmować, uzyskując nowe interesujące wyniki i przy okazji tworząc wiele nowych metod matematycznych (na przykład Witten zdobył najwyższą nagrodę naukową w dziedzinie matematyki), to stało się

oczywiste, że „struny” w teorii strun nie są podstawowym obiektem. O właściwościach teorii decydują inne, bardziej skomplikowane struktury istniejące w wyższych wymiarach, nazywane „branami” ze względu na skojarzenie z membranami w komórkach.

Co gorsza, zaczęła zanikać wyjątkowość teorii. W końcu świat, jakiego doświadczamy, nie jest dziesięciowymiarowy, ale raczej czterowymiarowy. Coś musiało się stać z pozostałymi sześcioma wymiarami i standardowe wytłumaczenie tego, że ich nie dostrzegamy, odwołuje się do ich „kompaktyfikacji” – to znaczy, iż w jakiś sposób zostały zwinięte w tak małej skali, że nie możemy ich rozwinąć w naszej skali ani nawet w skali, jaką penetrują najbardziej energetyczne cząstki elementarne przyspieszane we współczesnych akceleratorach.

Jest różnica pomiędzy tymi postulowanymi dziedzinami, w których mają się kryć dodatkowe wymiary, a domenami duchowości i religii, choć pozornie mogą one nie wydawać się tak odmienne. Po pierwsze, poznanie owych sześciu wymiarów w zasadzie jest możliwe, jeśli ktoś zbuduje akcelerator o odpowiedniej mocy – obecnie na przeszkodzie stoją pewne praktyczne ograniczenia, ale nie jest to wykluczone. Po drugie, można mieć nadzieję, jak w wypadku cząstek wirtualnych, na znalezienie jakiegoś pośredniego dowodu ich istnienia dzięki obiektom, jakie potrafimy mierzyć w naszym czterowymiarowym Wszechświecie. W skrócie, ponieważ te wymiary zostały zaproponowane jako składnik teorii stworzonej w celu podjęcia próby wyjaśnienia Wszechświata, a nie uzasadnienia faktu, że on w ogóle istnieje, to w końcu może zostaną eksperymentalnie zbadane, nawet jeśli prawdopodobieństwo tego nie jest wielkie.

Możliwość istnienia dodatkowych wymiarów jest ogromnym wyzwaniem dla nadziei, że nasz Wszechświat jest jedyny. Nawet jeśli zaczniemy od zunifikowanej teorii w dziesięciu wymiarach (której, co podkreślam, jeszcze nie mamy), to każdy sposób kompaktyfikowania niewidzialnych sześciu wymiarów prowadzi do różnych typów czterowymiarowych wszechświatów, z różnymi prawami fizyki, z różnymi oddziaływaniami, z różnymi cząstkami elementarnymi podlegającymi różnym symetriom. Teoretycy oszacowali, że być

może istnieje $10^{500}$ czterowymiarowych wszechświatów, które powstają w ramach tylko jednej dziesięciowymiarowej teorii strun. Z „teorii wszystkiego” nagle otrzymaliśmy „teorię czegoś”!

Tę sytuację świetnie zilustrowano w moim ulubionym komiksie naukowym pod tytułem *xkcd*. Jedna osoba mówi tam do drugiej: „Właśnie przyszła mi do głowy fantastyczna idea, że cała materia i energia mogłaby się składać z maleńkich drgających strun”. Druga osoba pyta: „Świetnie, a co z tego by wynikało?”. Pierwsza odpowiada: „Nie mam zielonego pojęcia”.

Teraz trochę poważniej. Laureat Nagrody Nobla, fizyk Frank Wilczek zasugerował, że teoretycy strun wynaleźli nowy sposób uprawiania fizyki, przypominający nowatorskie podejście do gry w strzałki. Najpierw ktoś rzuca strzałką w pustą ścianę, a potem inna osoba podchodzi do ściany i rysuje tarczę z dziesiątką w miejscu wbicia strzałki.

Podczas gdy komentarz Franka precyzyjnie odzwierciedla krzykliwą reklamę i szum, jaki powstał wokół tej teorii, należy podkreślić, że jednak ci, którzy ją rozwijają, uczciwie starają się odkryć zasady rządzące światem, w jakim żyjemy. Niemniej ten nadmiar czterowymiarowych wszechświatów, które są tak kłopotliwe dla teorii strun, teraz stał się zaletą teorii. Przypuszczalnie w dziesięciowymiarowym „wieloświecie” można osadzić mnóstwo różnych czterowymiarowych wszechświatów (albo pięciowymiarowych, albo sześciowymiarowych i tak dalej…), a każdy z nich może mieć inne prawa fizyki i ponadto w każdym z nich energia pustej przestrzeni może mieć inną wartość.

Chociaż może to wyglądać na wygodne zmyślenia, to jednak jest automatyczną konsekwencją teorii i powoduje powstanie prawdziwego „krajobrazu” wieloświata, który umożliwia zrozumienie energii pustej przestrzeni na gruncie antropicznym. W takim wypadku nie potrzebujemy nieskończenie wielu rozdzielnych wszechświatów w przestrzeni trójwymiarowej. Możemy sobie wyobrazić nieskończenie wiele wszechświatów ułożonych w stertę nad pojedynczym punktem naszej przestrzeni, niewidocznych dla nas, ale mających różne niezwykłe właściwości.

Pragnę podkreślić, że ta teoria nie jest tak trywialna jak teologiczne rozmyślania świętego Tomasza z Akwinu o tym, czy kilka aniołów może znajdować się w tym samym miejscu, przez późniejszych teologów wyszydzone jako bezowocne spekulacje o liczbie aniołów mogących zmieścić się na ostrzu igły albo, jak powszechnie się uważa, na główce szpilki. W rzeczywistości Akwinata odpowiedział sobie na to pytanie stwierdzeniem, że więcej niż jeden anioł nie może zajmować tego samego miejsca – oczywiście bez żadnego eksperymentalnego lub teoretycznego uzasadnienia! (A gdyby były anioły bozonowe, toby się mylił).

Mając taki model i odpowiednią do niego matematykę, można w zasadzie pokusić się o stworzenie przewidywań mających fizyczny sens. Na przykład można stworzyć rozkład prawdopodobieństwa istnienia różnych typów czterowymiarowych wszechświatów zanurzonych w wieloświecie liczącym więcej wymiarów. Albo przekonać się, że większość wszechświatów, które mają małą energię próżni, zawiera trzy rodziny cząstek elementarnych i cztery różne oddziaływania podstawowe. Albo można by było dowieść, że tylko we wszechświatach z małą energią próżni może istnieć dalekozasięgowe oddziaływanie elektromagnetyczne. Każdy taki rezultat mógłby dostarczyć istotnego dowodu, że probabilistyczne antropiczne wyjaśnienie energii pustej przestrzeni ma fizyczny sens – innymi słowy, istnienie wszechświata takiego jak nasz, z małą energią próżni, wcale nie jest niemożliwe.

Niestety matematyka do tej pory nie doprowadziła nas aż tak daleko i może też nigdy nie doprowadzić. Jednak pomimo obecnej bezsilności teorii nie oznacza to, że w rzeczywistości natura gdzieś nie realizuje takiego scenariusza.

Tymczasem fizyka cząstek elementarnych dzięki rozumowaniu antropicznemu uczyniła krok naprzód.

Fizycy cząstek elementarnych znacznie wyprzedzają kosmologów. Kosmologia stworzyła tylko jedną całkowicie tajemniczą wielkość: energię pustej przestrzeni, o której dosłownie nic nie wiemy. Natomiast fizyka cząstek elementarnych przez dłuższy czas nie była w stanie wyjaśnić tylu wielkości!

Na przykład dlaczego istnieją trzy rodziny cząstek elementarnych – elektron i jego cięższi kuzyni, mion i taon, albo trzy różne grupy kwarków, z których grupa o najniższej energii tworzy całość materii, jaka znajduje się na Ziemi? Dlaczego grawitacja jest o wiele słabsza od innych oddziaływań, takich jak na przykład oddziaływanie elektromagnetyczne? Dlaczego proton jest dwa tysiące razy bardziej masywny od elektronu?

Niektórzy fizycy cząstek elementarnych wykorzystują maksymalnie koniunkturę na argumentację antropiczną, być może dlatego, że ich wysiłki w celu wyjaśnienia tych zagadek spełzły na razie na niczym. W końcu jeśli okazuje się, że jedna podstawowa stała natury ma przypadkowo taką, a nie inną wartość w danym środowisku, to dlaczego nie miałoby to dotyczyć innych? Być może wszystkie zagadki teorii cząstek elementarnych da się rozwiązać, powołując się na tę samą mantrę: jeśli Wszechświat byłby odrobinę inny, to nie byłoby w nim nas.

Można się zastanawiać, czy takie rozwiązanie zagadek natury jest w ogóle jakimś rozwiązaniem albo, co istotniejsze, czy mieści się ono w ramach nauki takiej, jak ją definiujemy. Ostatecznie celem nauki, a w szczególności fizyki cząstek elementarnych, jest wyjaśnienie, dlaczego Wszechświat musi być taki, jak go mierzymy, a nie wyjaśnienie, dlaczego prawa natury miałyby tworzyć wszechświaty, które są całkiem różne.

Starałem się pokazać, dlaczego w tym wypadku chodzi o coś zupełnie innego, a mianowicie dlaczego wielu poważnych uczonych uznało argumentację antropiczną i pracując dość ciężko, starają się dowiedzieć, czy dzięki niej moglibyśmy dostrzec coś nowego w naszym Wszechświecie.

Pójdźmy dalej i postarajmy się wyjaśnić, jak nigdy niewykrywalne wszechświaty – albo nieskończenie oddalone od nas w przestrzeni, albo tkwiące w dodatkowych wymiarach tuż pod naszymi nosami w mikroskopowej odległości – mimo wszystko mogą być obiektem pewnego rodzaju testu empirycznego.

Wyobraźmy sobie na przykład, że stworzyliśmy teorię wielkiej unifikacji opartą na unifikacji przynajmniej trzech spośród czterech oddziaływań podstawowych, a jest to nieustanny cel fizyków cząstek

elementarnych (tych, którzy nie poddali się, poszukując teorii podstawowych w czterech wymiarach). Taka teoria powinna przewidywać pewne własności oddziaływań podstawowych i powiedzieć coś o widmie cząstek elementarnych, które poddajemy testom w akceleratorach. Jeśli przewidywałaby wiele własności, które udałoby się potwierdzić potem w eksperymentach, to moglibyśmy mieć nadzieję, że zawiera jakieś ziarenko prawdy.

A teraz przypuśćmy, że ta teoria także przewiduje okres inflacji we wczesnym dzieciństwie Wszechświata i *de facto* przewiduje, iż nasza epoka inflacji jest tylko jedną z mnóstwa innych takich epok wiecznie rozszerzającego się wieloświata. Nawet jeśli nie możemy bezpośrednio zbadać takich regionów istniejących poza naszym horyzontem, to jak powiedziałem wcześniej, jeśli coś chodzi jak kaczka i kwacze jak kaczka… No wiecie, co mam na myśli.

W znalezienie empirycznych dowodów potwierdzających ideę dodatkowych wymiarów znacznie trudniej uwierzyć, ale nie jest to niemożliwe. Wielu młodych zdolnych teoretyków poświęca karierę naukową w nadziei udoskonalenia teorii i znalezienia dowodów, choćby tylko pośrednich, że jest ona poprawna. Ich nadzieje mogą być źle ulokowane, ale to ich własny wybór. Być może dowody uzyskane w nowym Wielkim Zderzaczu Hadronów w Genewie uchylą ukryte dotąd okno na tę nową fizykę.

A więc po wieku niezwykłego, bezprecedensowego postępu naszej wiedzy o naturze staliśmy się zdolni do badania Wszechświata na skalę dotąd niewyobrażalną. Zrozumieliśmy mechanizm Wielkiego Wybuchu, sięgając wstecz do jego najwcześniejszych mikrosekund, i odkryliśmy istnienie setek miliardów nowych galaktyk, a w nich setek miliardów nowych gwiazd. Odkryliśmy, że 99 procent Wszechświata jest w rzeczywistości skryte przed naszym wzrokiem, że Wszechświat zawiera ciemną materię, najprawdopodobniej zbudowaną z nowego rodzaju cząstek elementarnych, a jeszcze więcej zawiera ciemnej energii, której pochodzenie stanowi całkowitą zagadkę.

Dzięki temu w końcu fizyka stanie się „nauką o środowisku”. Może się okazać, że przypisywane dotąd szczególne wartości podstawowych stałych natury nie mają już znaczenia, bo mogą one

przyjmować różne wartości w różnych środowiskach. Jeśli my, naukowcy, przejawiamy tendencję do traktowania siebie i nauki zbyt serio, to może podchodziliśmy w ten sposób też do naszego Wszechświata. Może dosłownie, lub metaforycznie, robimy zbyt wiele hałasu o nic. A może najwyżej wyolbrzymiamy to nic, które dominuje nad Wszechświatem! Może nasz Wszechświat jest raczej kroplą w ogromnym oceanie możliwości wieloświata. Może nigdy nie stworzymy teorii, która wyjaśni, dlaczego musi on być taki, jaki jest.

A może jednak stworzymy.

Oto najbardziej wierny obraz znanej nam rzeczywistości, jaki mogę nakreślić. Oparty na pracy wykonanej w ciągu ubiegłego stulecia przez dziesiątki tysięcy pełnych oddania sprawie umysłów, budowie najbardziej wyrafinowanych urządzeń, jakie kiedykolwiek skonstruowano, i rozwojowi najpiękniejszych i najbardziej złożonych idei, z jakimi kiedykolwiek ludzkość miała do czynienia. Jest to obraz podkreślający to wszystko, co najlepsze w człowieku – naszą zdolność wyobrażenia sobie nieskończonych możliwości form istnienia i odwagę w ich badaniu – bez zrzucania odpowiedzialności na nieokreśloną kreującą siłę albo stwórcę, który z definicji zawsze jest niezgłębiony. Tak zdobytą wiedzę zawdzięczamy tylko sobie. Twierdząc inaczej, zrobilibyśmy krzywdę tym wszystkim znakomitym badaczom, którzy przyczynili się do osiągnięcia obecnego stanu wiedzy.

Jeśli chcemy wyciągać jakiekolwiek filozoficzne wnioski dotyczące naszego istnienia, naszego znaczenia i znaczenia samego Wszechświata, to powinny one opierać się na wiedzy empirycznej. Prawdziwie otwarty umysł oznacza zmuszenie wyobraźni do dostosowania się do dowodów rzeczywistości, a nie odwrotnie, bez względu na to, czy podobają się nam tego konsekwencje.

# Rozdział 9

# Nic jest czymś

*Mogę nie wiedzieć. Nie obawiam się tego.*

Richard Feynman

Izaak Newton, być może największy fizyk wszech czasów, głęboko zmienił nasze postrzeganie Wszechświata, ale największą jego zasługą jest wykazanie, że istnieje możliwość objaśniania Wszechświata. Dzięki swym uniwersalnym prawom grawitacji dowiódł, że nawet niebiosa podlegają mocy praw natury. Odtąd Wszechświat już nigdy nie był obcy, nieprzyjazny, groźny i pozornie kapryśny.

Gdyby Wszechświatem rządziły niezmienne prawa, to mityczni bogowie starożytnej Grecji i Rzymu staliby się bezsilni. Koniec ze swobodą w arbitralnym stwarzaniu ludzkości trudnych do rozwiązania problemów. Ta uwaga dotycząca Zeusa ma zastosowanie i do Boga Izraela. Jak Słońce może stać nieruchomo w południe, jeśli nie okrąża Ziemi, a jego ruch po nieboskłonie jest w rzeczywistości wynikiem obrotu Ziemi, która w chwili nagłego zatrzymania wytworzyłaby na swej powierzchni siły niszczące wszystko, co ludzie stworzyli, oraz ich samych?

Oczywiście zdarzenia nadprzyrodzone to istota wszystkich cudów. Przecież są one właśnie obejściem praw natury. Bóg, który stwarza prawa natury, może zgodnie ze swą wolą ominąć je wszystkie. Chociaż dlaczego tak swobodnie czynił to tysiące lat temu, a nie

dzisiaj, gdy mamy współczesne instrumenty mogące takie cuda zanotować? Warto nad tym się zastanowić.

W każdym razie nawet we Wszechświecie pozbawionym cudów po odkryciu bardzo prostego porządku leżącego u jego podstaw można dojść do dwóch różnych wniosków. Pierwszy jest taki, że ten porządek stworzył Bóg, stwórca nie tylko wszechświata, ale także nas na obraz i podobieństwo (oczywiście inne złożone i piękne istoty już nie!). Do tego wniosku doszedł sam Newton, a wcześniej opowiedział się za nim Galileusz i zastępy innych uczonych. Drugi wniosek jest taki, że prawa natury to wszystko, co istnieje. W ich wyniku powstał sam Wszechświat i ewoluował, a my tylko jesteśmy produktem ubocznym tych praw. Prawa mogą być wieczne, powstały na skutek jakiegoś czysto fizycznego procesu, dotąd niepoznanego.

Filozofowie, teolodzy i niektórzy uczeni wciąż rozważają te możliwości. Nie wiemy na pewno, która z nich rzeczywiście opisuje Wszechświat, a może nawet nigdy się o tym nie dowiemy. Niemniej wniosek jest taki, jak już podkreślałem na samym początku tej książki – ostatecznego osądu w tej sprawie nie wyda nadzieja, życzenie, objawienie ani czysta myśl. Wyda go badanie natury. Bez względu na to, czy jest to marzenie, czy też koszmar, jak pisze Jacob Bronowski w cytacie umieszczonym na początku książki – a czyjś sen dla kogoś innego może być koszmarem – musimy cieszyć się życiem takim, jakie jest, i przeżywać je świadomie. Wszechświat jest taki, jaki jest, czy nam się to podoba czy nie.

Uważam za *szczególnie ważne* to, że Wszechświat powstały z niczego – jak z trudem próbuję to opisać – powstał naturalnie, a nawet nieuchronnie, i przemawia za tym wszystko, czego dowiedzieliśmy się o otaczającym nas świecie. Ta wiedza nie pochodzi z filozoficznych czy teologicznych rozważań o moralności lub innych rozmyślań o naturze ludzkiej. Jest ona rezultatem opisanych tu przeze mnie ekscytujących osiągnięć kosmologii empirycznej i fizyki cząstek elementarnych.

W ten sposób chcę powrócić do pytania, jakie postawiłem na początku tej książki. Dlaczego istnieje raczej coś niż nic? Być może mamy teraz lepsze podstawy, aby się nim zająć, dokonaliśmy bowiem przeglądu współczesnej naukowej wiedzy o Wszechświecie,

jego historii, jego prawdopodobnej przyszłości, oraz dysponujemy opisem tego, czym „nic” może być. Tak jak wspomniałem już na początku książki, to zagadnienie leży u podstaw wiedzy naukowej, podobnie jak wszystkie tego typu filozoficzne pytania. Skoro nie musimy już zakładać istnienia stwórcy, znaczenie użytych słów zmieniło się tak, że pytanie utraciło swój pierwotny sens – tak się często zdarza, gdy wiedza empiryczna rzuca nowe światło na dotąd ciemny zakamarek naszej wyobraźni.

Tymczasem w nauce musimy być szczególnie ostrożni z pytaniami typu „dlaczego”. Gdy pytamy „dlaczego”, zwykle mamy na myśli „jak”. Jeśli potrafimy odpowiedzieć na ostatnie pytanie, zwykle nam to wystarcza. Na przykład moglibyśmy zapytać: „Dlaczego Ziemia znajduje się w odległości około 150 milionów kilometrów od Słońca?”. To znaczy, jesteśmy zainteresowani procesem fizycznym prowadzącym do tego, że ostatecznie Ziemia zajmuje swe obecne położenie. „Dlaczego” niejawnie sugeruje cel, a kiedy staramy się zrozumieć Układ Słoneczny w kategoriach naukowych, to zwykle nie przypisujemy mu celu.

Dlatego założę, że w istocie sens pytania jest następujący: „Jak istnieje raczej coś niż nic?”. Pytania zaczynające się od „jak” są jedynymi, na które dzięki badaniu natury możemy znaleźć ostateczne odpowiedzi, ale ponieważ takie pytania bardzo dziwnie brzmią dla ucha, wybaczcie mi, gdy czasami wpadnę w pułapkę i będę przytaczał standardowe sformułowanie, choć w istocie postaram się odpowiadać na bardziej konkretne pytanie typu „jak”.

Nawet tutaj, z perspektywy rzeczywistego *zrozumienia*, ten rodzaj pytań zaczynających się od „jak” ustępuje miejsca wielu bardziej szczegółowym i mającym większe praktyczne walory kwestiom. Na przykład: „Co mogło stworzyć własności Wszechświata, które tak wyraźnie charakteryzują go w obecnym momencie?” albo innej, o większym znaczeniu praktycznym: „Jak możemy to odkryć?”.

Chcę teraz znowu poświęcić chwilę sprawie, o której sądzę, że jest dawno przegrana. Pytania w ten sposób zadawane pomagają w zrozumieniu i uzyskaniu nowej wiedzy. To właśnie odróżnia je od tych czysto teologicznych, które z zasady zakładają już odpowiedź. Rzeczywiście, rzuciłem wyzwanie kilku teologom, aby

przedstawili dowody przeczące tezie, że teologia, w ciągu co najmniej ostatnich pięciuset lat, czyli od zarania współczesnej nauki, nie miała żadnego udziału w rozwoju wiedzy. Jak dotąd żaden z nich nie dał kontrprzykładu. Większość odpowiedzi, jakie otrzymałem, zawierała pytanie dotyczące mojego sformułowania: „A w jakim znaczeniu używasz terminu wiedza?". Z epistemologicznego punktu widzenia może to być bardzo drażliwy temat do dyskusji, ale nadal twierdzę, że jeśli ktoś miałby coś innego na ten temat do powiedzenia, to już by to przedstawił. Gdybym to samo wyzwanie rzucił biologom, historykom albo astronomom, żaden z nich nie byłby tak zbity z tropu.

Odpowiedzi na tego typu inspirujące pytania pociągają za sobą teoretyczne przewidywania, które można potwierdzić eksperymentalnie, znacznie bardziej bezpośrednio rozszerzające naszą wiedzę o Wszechświecie. Częściowo właśnie z tego powodu skupiałem w książce swą uwagę na tego rodzaju pytaniach. Pytanie „o coś z niczego" wciąż jednak cieszy się wielką popularnością i dlatego musimy stawić mu czoło.

Osiągnięcia Newtona radykalnie zmniejszyły domenę działania Boga, bez względu na to, czy Wszechświat w swej istocie jest racjonalny czy też nie. Prawa Newtona nie tylko znacząco ograniczyły swobodę boskiego wpływu, one wręcz uczyniły zbędną interwencję świata nadprzyrodzonego. Newton odkrył, że ruch planet wokół Słońca nie wymaga, jak sądzono wcześniej, aniołów stale popychających je wzdłuż trajektorii, lecz powoduje go siła przyciągająca, całkiem nieintuicyjnie skierowana w stronę Słońca. Choć uwolnienie aniołów od tego zajęcia ma niewielki wpływ na wiarę w nie (badania wskazują jednak, że w Stanach Zjednoczonych więcej ludzi wierzy w anioły niż w ewolucję), to można uznać, że postęp nauki od czasów Newtona jeszcze bardziej ograniczył możliwość objawienia Boga w jego domniemanym dziele.

Jesteśmy w stanie prześledzić wstecz ewolucję Wszechświata aż do najwcześniejszych momentów Wielkiego Wybuchu. Do tego wystarczają nam tylko znane prawa fizyki. Nic poza tym. Jesteśmy w stanie określić także jego prawdopodobną przyszłość. Są wciąż pewne zagadki Wszechświata, których nie rozumiemy, ale zakładam,

że czytelnicy nie tłumaczą dziełem bożym zdarzeń zagadkowych albo niezupełnie zrozumiałych. Nawet teolodzy zdają sobie sprawę, że uciekanie się do takich wyjaśnień nie tylko umniejsza wielkość Istoty Najwyższej, lecz także umożliwia dalszą jej marginalizację, gdy tylko nowe dane wyjaśniają zagadkę.

W tym znaczeniu dyskusja o „czymś z niczego" skupia się na pierwotnym akcie kreacji i jest próbą odpowiedzi na pytanie, czy naukowe wyjaśnienie tak specyficznego zagadnienia mogłoby być logicznie spójne i w pełni satysfakcjonujące.

W świetle obecnego stanu wiedzy okazuje się, że istnieją trzy różne znaczenia pytania o „coś z niczego". Na wszystkie krótka odpowiedź może brzmieć: „prawdopodobnie tak". Co mam zamiar omówić w pozostałej części książki, gdy będę próbował wyjaśnić „dlaczego" albo, co przed chwilą uzasadniłem – „jak".

Brzytwa Ockhama to pogląd, w myśl którego, jeśli jakieś zdarzenie jest fizycznie dopuszczalne, to nie musimy go specjalnie uzasadniać. Z pewnością jednym z takich nadzwyczajnych powodów byłaby interwencja wszechmogącej istoty spoza naszego Wszechświata, albo wieloświata, która ma władzę nad wszystkim, co w nim zachodzi. A zatem do takiego wyjaśnienia powinno się uciekać w ostateczności, a nie na samym początku.

We wstępie do tej książki argumentowałem, że sama definicja „niczego" jako „nieistnienia" nie wystarcza, aby twierdzić, że fizyka, a ogólnie nauka, nie jest właściwa do rozważania takich zagadnień. Pozwólcie, że przedstawię teraz dodatkowy, bardziej szczegółowy argument. Rozważmy parę elektron–pozyton, która spontanicznie powstaje w pustej przestrzeni nieopodal jądra atomowego i wpływa na własności atomu w ciągu krótkiej chwili swego istnienia. W jakim sensie istniał przedtem elektron albo pozyton? Oczywiście zgodnie z każdą sensowną definicją nie istniał. Z pewnością była możliwość jego istnienia, ale nie definiuje ona *istnienia* bardziej niż na przykład możliwość istnienia człowieka na skutek połączenia się plemnika z jajeczkiem. W istocie najlepszą odpowiedzią na pytanie o to, jak to jest być umarłym (to znaczy nie istnieć), jest wyobrażenie sobie, jak to było przed poczęciem. W każdym razie jeśli możliwość istnienia

byłaby tym samym co istnienie, to jestem pewny, że onanizm stałby się tak samo ważnym zagadnieniem prawa jak obecnie aborcja.

Na Uniwersytecie Stanowym Arizony, gdzie kieruję projektem pod nazwą „Origins Project" (Projekt Pochodzenie), zorganizowaliśmy warsztaty poświęcone pochodzeniu życia i nie mogę się powstrzymać, aby nie zaprezentować tej debaty w kontekście powyższych rozważań. Nie wiemy jeszcze dokładnie, jak powstało życie na Ziemi. Jednak nie tylko znamy stojące za nim możliwe mechanizmy chemiczne, ale każdego dnia jesteśmy coraz bliżej i bliżej poznania pewnych łańcuchów reakcji prowadzących w sposób naturalny do powstania biomolekuł, w tym RNA. Poza tym ewolucja darwinowska, oparta na doborze naturalnym, przedstawia przekonujący obraz powstania złożonych form życia na tej planecie. Dochodzi do tego w następstwie dość specyficznych reakcji chemicznych doprowadzających do stworzenia pierwszych prawdziwie samoreplikujących się komórek, czerpiących energię z otoczenia w celu podtrzymania metabolizmu. (To definicja życia, jaką mogę wymyślić w tym momencie).

Podobnie jak Darwin, który usunął, choć niechętnie, potrzebę boskiej interwencji w ewolucję świata współczesnego, tętniącego różnorodnością życia na całej planecie (chociaż pozostawił otwartą furtkę dla możliwości tchnienia przez Boga życia w pierwsze formy), my dzięki obecnej wiedzy o Wszechświecie, o jego przeszłości i przyszłości, możemy wiarygodnie stwierdzić, że „coś" powstało z niczego, bez potrzeby odwoływania się do boskiego przewodnictwa. Moim zdaniem w tym zakresie nigdy nie osiągniemy poziomu wyższego niż wiarygodność, ze względu na trudności obserwacyjne i trudności z opracowaniem szczegółów teorii. Jednakże nawet sama wiarygodność, moim zdaniem, jest ogromnym krokiem naprzód w czasie, gdy staramy się nadać sens naszemu życiu we Wszechświecie, którego centrum nie stanowimy i który przypuszczalnie powstał bez powodu i bez powodu może także zniknąć.

Powróćmy do jednej z niezwykłych właściwości naszego Wszechświata, tego, że jest tak bliski płaskości, jak tylko możemy to zmierzyć. Przypominam o wyjątkowym aspekcie płaskiego

wszechświata, przynajmniej w skalach, w jakich jest zdominowany przez materię występującą w formie galaktyk i w którym newtonowskie przybliżenie pozostaje aktualne: w płaskim wszechświecie, i tylko w takim, średnia newtonowska energia grawitacyjna każdego obiektu podlegającego ekspansji przestrzeni wynosi dokładnie zero.

Podkreślam, że ten postulat był falsyfikowalny. Nie musiało wcale tak być. Niczemu to nie służyło poza spekulacjami teoretycznymi opartymi na założeniu, że Wszechświat mógł powstać z niczego albo przynajmniej *prawie z niczego*.

Nie można nie podkreślić faktu, że skoro już włączyliśmy grawitację do rozważań o naturze, nie można w sposób dowolny definiować całkowitej energii układu ani ujemnych i dodatnich wkładów do tej energii. Całkowita grawitacyjna energia obiektów unoszonych wraz z ekspansją Wszechświata nie może być bardziej dowolnie definiowana niż geometryczna krzywizna Wszechświata, która zgodnie z ogólną teorią względności jest własnością samej przestrzeni i jest określana przez energię w niej zawartą.

Wspominam o tym dlatego, że są tacy, którzy utrzymują, że przyjęcie średniej całkowitej newtonowskiej energii grawitacyjnej każdej galaktyki w płaskim, rozszerzającym się wszechświecie jako równej zeru jest arbitralne i każda inna wartość byłaby tak samo dobra, ale uczeni „definiują" ją jako zero, aby zaprzeczyć istnieniu Boga. Tak przynajmniej uważa Dinesh D'Souza, toczący z Christopherem Hitchensem debaty o istnieniu Boga.

Trudno znaleźć dalsze od prawdy twierdzenie. Krzywiznę przestrzeni wyznaczali przez połowę wieku uczeni, którzy poświęcili życie badaniu rzeczywistej natury Wszechświata, a nie narzucaniu innym własnej jego wizji. Nawet po długim czasie od przedstawienia teoretycznego argumentu za tym, że Wszechświat powinien być płaski, w latach osiemdziesiątych i na początku dziewięćdziesiątych moi koledzy astronomowie wciąż próbowali udowodnić coś przeciwnego. Bo w końcu w nauce osiąga się wielkie wyniki (i często wielką sławę) nie dzięki uleganiu owczemu pędowi, ale raczej przeciwstawieniu mu się.

Jednak to w końcu dane miały ostatnie słowo i to one zadecydowały. Nasz obserwowalny Wszechświat jest tak bliski płaskości, o ile możemy to zmierzyć. Newtonowska energia grawitacyjna galaktyk unoszonych przez ekspansję przestrzeni *wynosi* zero – czy się to komuś podoba, czy nie.

Teraz chciałbym uzasadnić, dlaczego nasz Wszechświat, jeśli powstał z niczego, jak płaski wszechświat, z zerową całkowitą energią grawitacyjną obiektów, jest właśnie tym, jakiego oczekujemy. Dowód jest trochę trudny do zrozumienia – nie mogłem go przedstawiać na popularnych wykładach na ten temat – dlatego bardzo jestem zadowolony, że mam tu trochę miejsca, aby to starannie wyłożyć.

Przede wszystkim chcę, aby było jasne, o jakim „nic" będę teraz pisał. To najprostsza wersja nic, mam tu na myśli pustą przestrzeń. Przez chwilę założę, że przestrzeń istnieje, a w niej całkowicie nic, aczkolwiek działają prawa fizyki. Powtórzę jeszcze raz. Zdaję sobie sprawę, że w świetle kolejnych definicji „nicości", jakie wciąż zgłaszają pewni badacze, próbujący ująć to słowo tak, aby straciło jakikolwiek praktyczny walor, ta wersja wyda się niewystarczająca. Podejrzewam jednak, że gdy Platon lub Tomasz z Akwinu zastanawiali się, dlaczego jest tam raczej coś niż nic, pojęcie pustej przestrzeni niezawierającej wewnątrz nic było pewnie dobrym przybliżeniem tego, o czym myśleli.

Jak wspomniałem w rozdziale 6, Alan Guth wyjaśnił precyzyjnie, w jaki sposób otrzymujemy „coś" z tego rodzaju „niczego" – otrzymujemy to ostatecznie za darmo. Pusta przestrzeń, bez materii i bez promieniowania, może mieć niezerową energię z nią związaną. Ogólna teoria względności mówi nam, iż przestrzeń będzie rozszerzać się wykładniczo i nawet region początkowo najmniejszy może szybko uzyskać objętość tak ogromną, że zmieściłby się w niej nasz obecny widzialny Wszechświat.

Pisałem również w tamtym rozdziale, że podczas takiej gwałtownej ekspansji region, który potem stanie się większy od naszego Wszechświata, będzie coraz bardziej płaski i płaski, pomimo że energia zawarta w jego pustej przestrzeni będzie stale się zwiększała. To zjawisko zachodzi bez udziału jakiegokolwiek hokus-

pokus albo cudownej interwencji. Tak się dzieje, ponieważ grawitacyjne „ciśnienie” związane z tą energią jest w rzeczywistości ujemne. Ujemna wartość ciśnienia oznacza, że w czasie rozszerzania się Wszechświata energia zostaje zmagazynowana w przestrzeni, a nie odwrotnie.

Zgodnie z tym obrazem, gdy inflacja się kończy, energia zawarta w pustej przestrzeni przekształca się w energię rzeczywistych cząstek i promieniowania, w efekcie tworząc łatwy do wykrycia początek ekspansji naszego Wielkiego Wybuchu. Piszę o łatwym do wykrycia początku, ponieważ inflacja skutecznie zaciera ślad stanu Wszechświata sprzed jego początku. Jeśli była ona wystarczająco silna, to cała pierwotna złożoność i nieregularność w wielkiej skali (jeśli pierwotny, uprzednio istniejący Wszechświat albo metawszechświat był wielki lub nieskończenie wielki) zostaje wygładzona i/albo tak daleko rozciągnięta poza nasz obecny horyzont, że zawsze będziemy obserwować prawie jednorodny Wszechświat.

Podkreślam: prawie jednorodny, ponieważ już opisałem w rozdziale 6, jak mechanika kwantowa pozostawia zawsze jakieś małe fluktuacje, które zastygają podczas inflacji. Tak pojawia się drugi niezwykły ślad inflacji. Małe fluktuacje w pustej przestrzeni powstające na skutek działania zasad mechaniki kwantowej później będą odpowiedzialne za wszystkie struktury, jakie dzisiaj obserwujemy we Wszechświecie. Tak więc my i wszystko, co widzimy, powstało na początku czasu z kwantowych fluktuacji tego, co w zasadzie jest nicością.

Gdy już opadnie kurz, ogólna konfiguracja materii i promieniowania będzie taka jak dla płaskiego wszechświata, takiego, w którym newtonowska średnia energia grawitacyjna wszystkich obiektów będzie wynosiła zero. Tak będzie prawie zawsze, o ile komuś nie uda się doskonale dostroić wielkości inflacji.

Dlatego nasz obserwowalny Wszechświat może rozpocząć istnienie jako mikroskopowo mały region przestrzeni, w istocie pusty, a potem wciąż powiększać się aż do gigantycznej skali i w końcu zawierać wiele materii i promieniowania. A wszystko dokona się bez żadnego

wydatku energii, z wystarczającą ilością materii i promieniowania, które stały się źródłem wszystkiego, co dziś obserwujemy!

Ważny wniosek wart podkreślenia w tym krótkim podsumowaniu dynamiki inflacyjnej jest taki, że coś może powstać z pustej przestrzeni, ponieważ w obecności grawitacji energetyka pustej przestrzeni nie jest taka, jak podpowiadał nam zdrowy rozsądek, zanim odkryliśmy prawa natury leżące u podstaw tego zjawiska.

Niemniej nikt nigdy nie powiedział, że Wszechświat kieruje się tym, co my, w swym nieistotnym maleńkim zakątku przestrzeni i czasu, mogliśmy początkowo uważać za sensowne. Oczywiście logiczne wydaje się wyobrażenie, że *a priori* materia nie może spontanicznie powstać z pustej przestrzeni w tym sensie, aby *coś* powstało z *niczego*. Gdy zaś pojawia się dynamika grawitacji i mechanika kwantowa, staje się oczywiste, że to zdroworozsądkowe podejście nie jest już poprawne. Na tym polega *piękno* nauki i nie trzeba się go obawiać. Po prostu nauka zmusza nas do korekty tego, co jest sensowne, aby dostosować się do Wszechświata, a nie odwrotnie.

Podsumowując zatem: obserwacje, że Wszechświat jest płaski, a lokalna newtonowska energia grawitacyjna – w zasadzie równa zeru, zdecydowanie wskazują na to, iż nasz Wszechświat powstał na skutek procesu podobnego do inflacji, procesu, dzięki któremu energia pustej przestrzeni (niczego) została przekształcona w energię czegoś, w czasie gdy Wszechświat był rozciągany do stanu prawie doskonałej płaskości we wszystkich obserwowalnych skalach.

Podczas gdy inflacja pokazuje, jak pusta przestrzeń obdarzona energią może efektywnie tworzyć wszystko, co widzimy, razem z niewiarygodnie wielkim i płaskim Wszechświatem, nieuczciwe byłoby sugerowanie, że pusta przestrzeń obdarzona energią, która napędza inflację, jest rzeczywiście *niczym*. W tym obrazie trzeba założyć, że przestrzeń istnieje i może magazynować energię oraz że posługując się prawami fizyki, takimi jak ogólna teoria względności, można wyliczyć tego konsekwencje. Jeśli tutaj byśmy zakończyli nasz wywód, ktoś miałby słuszność, twierdząc, że współczesna nauka jeszcze nie dojrzała do podjęcia rozważań, jak coś powstaje z niczego. To jednak dopiero pierwszy krok na tej drodze. Gdy

rozszerzymy naszą wiedzę, zobaczymy, że inflacja jest po prostu kosmicznym wierzchołkiem góry lodowej nicości.

# Rozdział 10

# Nic jest niestabilne

*Fiat iustitia – ruat caelum.*
(Sprawiedliwości musi stać się zadość, choćby niebo miało runąć)

przysłowie rzymskie

Istnienie energii pustej przestrzeni – odkrycie, które wstrząsnęło naszym kosmologicznym Wszechświatem i stało się podstawą do sformułowania teorii inflacji – tylko wzmacnia to, co wiemy o mechanice kwantowej i co zostało ustalone w eksperymentach laboratoryjnych, które już opisywałem. Pusta przestrzeń jest skomplikowanym zagadnieniem. To kotłująca się mieszanina cząstek wirtualnych pojawiających się i znikających w tak krótkich odstępach czasu, że nie jesteśmy w stanie bezpośrednio ich obserwować.

Cząstki wirtualne są przejawem podstawowych własności układów kwantowych. W samym centrum mechaniki kwantowej tkwi reguła, której czasami poddają się także politycy i prezesi wielkich korporacji – dopóki nikt nie patrzy, dopóty wszystko chodzi. W układach wciąż zachodzą przejścia, choćby nawet na moment, pomiędzy wszystkimi dozwolonymi stanami, łącznie z tymi, które nie byłyby dozwolone, gdyby układ aktualnie podlegał pomiarowi. Te „kwantowe fluktuacje" wskazują na coś istotnego w świecie kwantów: nic zawsze stwarza coś, choćby tylko na mgnienie oka.

Tkwi tutaj pewien szkopuł. Zasada zachowania energii mówi nam, że układy kwantowe mogą naruszać ją tylko na krótko. Podobnie jak nieuczciwy makler giełdowy, jeśli stan, w jakim na skutek fluktuacji

znajdzie się układ, wymaga pobrania nieco energii pustej przestrzeni, to układ musi zwrócić tę energię w wystarczająco krótkim czasie, aby pomiar nie był w stanie tego wykryć.

W rezultacie można śmiało założyć, że to coś wytworzone z kwantowych fluktuacji ma charakter efemeryczny – jest niemierzalne w przeciwieństwie do, powiedzmy, nas samych albo Ziemi, na której żyjemy. Jednakże ta efemeryczna kreacja jest także uzależniona od okoliczności towarzyszących naszemu pomiarowi. Na przykład rozważmy pole elektrycznie naładowanego obiektu. Jest ono z pewnością realne. Można przecież odczuwać obecność statycznych sił elektrycznych na włosach albo na balonie przywierającym do ściany. Natomiast kwantowa teoria elektromagnetyzmu twierdzi, że statyczne pole elektryczne powstaje na skutek emisji przez elektrycznie naładowane cząstki tworzące pole wirtualnych fotonów o całkowitej energii równej zeru. Te cząstki wirtualne, ponieważ mają zerową energię, mogą jednak rozprzestrzeniać się po całym Wszechświecie, nie znikając, a pole, powstałe na skutek nakładania się jednych na drugie, jest tak realne, że można odczuć jego obecność.

Czasami warunki są do tego stopnia rzeczywiste, że z pustej przestrzeni bezkarnie mogą wyskakiwać masywne cząstki. W pewnym eksperymencie dwie elektrycznie naładowane płytki są zbliżane ku sobie, a gdy pole elektryczne między nimi stanie się wystarczająco silne, to bardziej sprzyjająca pod względem energetycznym staje się sytuacja, gdy z próżni „wyskakuje” realna para cząstka–antycząstka, a wtedy ładunek ujemny podąża w kierunku płytki dodatniej, dodatni zaś w kierunku płytki ujemnej. W ten sposób redukcja energii związana z redukcją ładunku na każdej z płytek, a zatem z redukcją pola elektrycznego między nimi, może być większa niż energia masy spoczynkowej wymagana do produkcji dwóch realnych cząstek. Oczywiście natężenie pola musi być ogromne, aby takie warunki były możliwe do spełnienia.

Istnieje takie miejsce, gdzie silne pola różnego rodzaju umożliwiają powstawanie zjawisk podobnych do opisanych powyżej – ale w tym wypadku dzięki grawitacji. Odkrycie to w 1974 roku uczyniło Stephena Hawkinga sławnym wśród fizyków. Wykazał bowiem

teoretycznie, że czarne dziury – z których bez udziału mechaniki kwantowej nic nigdy nie może uciec – promieniują realne cząstki.

Istnieje wiele sposobów wyjaśnienia tego zjawiska, ale jeden jest uderzająco podobny do sytuacji związanej z polem elektrycznym, jaką opisałem powyżej. W czarnej dziurze definiuje się tak zwany horyzont zdarzeń. Żaden obiekt według fizyki klasycznej nie mógłby przekroczyć tej granicy i uciec z czarnej dziury, ponieważ jego prędkość ucieczki musiałaby być większa od prędkości światła. W ten sposób nawet światło emitowane wewnątrz horyzontu zdarzeń nie jest w stanie wydostać się na zewnątrz.

A teraz wyobraźmy sobie parę cząstka–antycząstka powstającą na skutek kwantowych fluktuacji energii pustej przestrzeni tuż na zewnątrz horyzontu zdarzeń. Gdy jedna z cząstek wpada pod horyzont zdarzeń, utrata jej energii grawitacyjnej podczas spadania do czarnej dziury jest wystarczająco wielka, aby przewyższyć podwojoną energię masy spoczynkowej każdej z cząstek. Oznacza to, że partnera cząstki da się realnie zaobserwować, bez naruszania zasady zachowania energii, gdy odlatuje sobie nawet do nieskończoności. Dodatnia całkowita energia związana z wyemitowaną cząstką jest skompensowana z nawiązką przez utratę energii jej partnera spadającego do czarnej dziury. Czarna dziura może w ten sposób emitować cząstki.

Jednak sytuacja jest nawet jeszcze bardziej interesująca, ponieważ energia tracona przez spadającą cząstkę jest większa od tej związanej z jej masą spoczynkową. W rezultacie gdy spada ona do czarnej dziury, cały układ składający się z czarnej dziury i cząstki do niej spadającej ma mniejszą energię niż przedtem, zanim cząstka zaczęła spadać! Czarna dziura po wychwyceniu cząstki realnie staje się *lżejsza* o wielkość równoważną energii unoszonej przez cząstkę wyemitowaną, która uciekła spod jej horyzontu zdarzeń. W końcu cała czarna dziura mogłaby zniknąć na skutek takiej radiacji. Na razie tego na pewno nie wiemy, ponieważ końcowe stadia wyparowywania czarnej dziury muszą podlegać fizyce stosowanej w tak krótkich skalach, że sama ogólna teoria względności nie może dać definitywnego rozwiązania. W tych skalach grawitacja musi być traktowana jako w pełni kwantowomechaniczna teoria, a nasze

współczesne rozumienie ogólnej teorii względności nie jest wystarczające, aby móc definitywnie określić, co nastąpi.

Pomimo to wszystkie opisane zjawiska wskazują, że w odpowiednich warunkach nie tylko nic może stać się czymś, ale jest to wręcz nieuniknione.

Wysiłek kosmologii włożony w zrozumienie, dlaczego żyjemy we Wszechświecie zbudowanym z materii, jest najwcześniejszym przykładem tego, że „nic" może być niestabilne i uformować się w „coś".

Prawdopodobnie nie budzicie się każdego ranka, zastanawiając się nad niezwykłością faktu, że nasz Wszechświat zawiera materię. Jego niezwykłość polega na tym, że o ile wiemy, nie zawiera on wiele antymaterii, której istnienia – jak sobie przypominacie – domaga się mechanika kwantowa połączona ze szczególną teorią względności, tak aby dla każdej cząstki występującej w naturze istniała antycząstka o tej samej masie, ale przeciwnym ładunku. Ktoś mógłby pomyśleć, że każdy sensowny wszechświat w chwili swego powstania mógłby posiadać równe ich ilości. Przecież antycząstki zwykłych cząstek mają taką samą masę i podobne inne własności, dlatego jeśli cząstki powstawały we wczesnym okresie istnienia Wszechświata, to równie dobrze mogłyby być stworzone i antycząstki.

Ewentualnie możemy sobie nawet wyobrazić wszechświat z antymaterii, w którym antycząstki zastąpiły wszystkie cząstki tworzące gwiazdy i galaktyki. Taki wszechświat wyglądałby prawie identycznie jak ten, w którym żyjemy. Obserwatorzy w nim (sami zbudowani z antymaterii) bez wątpienia nazywaliby materią to, co my nazywamy antymaterią. Nazwa jest tu bez znaczenia.

Jednak jeśli nasz Wszechświat rozpocząłby swe istnienie sensownie, z równą ilością materii i antymaterii, i pozostawał taki dalej, to nie pytalibyśmy teraz „dlaczego?" ani „jak?", skorobyśmy nie istnieli. A doszłoby do tego, ponieważ wszystkie cząstki antymaterii we wczesnym Wszechświecie anihilowałyby z cząstkami materii, pozostawiając po sobie tylko czyste promieniowanie. Żadna materia ani antymateria nie pozostałaby, aby później uformować się w gwiazdy i galaktyki albo kochanków i antykochanków, którzy

pewnego razu spleceni w miłosnym uścisku mogliby wpatrywać się w spektakl widoczny na nocnym niebie. Nic by się nie działo. Historia składałaby się z pustki wypełnionej promieniowaniem stopniowo ochładzającej się do formy zimnego, ciemnego i ponurego wszechświata. Panowałaby niepodzielnie nicość.

W latach siedemdziesiątych XX wieku uczeni zaczęli zdawać sobie sprawę, że możliwe jest powstanie w Wielkim Wybuchu Wszechświata z równą ilością materii i antymaterii, a na skutek kwantowego procesu powodującego w jego wczesnych chwilach małą asymetrię, małą nadwyżkę materii nad antymaterią – „stworzenie czegoś z niczego". Wówczas zamiast całkowitej anihilacji materii z antymaterią, prowadzącej do nicości wypełnionej czystym promieniowaniem, cała dostępna antymateria anihilowała z materią i pozostała nadwyżka materii. Dzięki temu stanowi ona teraz całą materię zawartą w gwiazdach i galaktykach obserwowanych we Wszechświecie.

W rezultacie to, co skądinąd wydawałoby się prowadzić do pomyślnego zakończenia (wprowadzenie małej asymetrii w najwcześniejszym okresie Wszechświata), może być uważane prawie za moment kreacji, ponieważ gdy tylko pojawiła się asymetria między materią i antymaterią, nic już potem nie mogło jej usunąć. Wówczas została ustalona późniejsza historia Wszechświata zapełnionego gwiazdami i galaktykami. We wczesnym Wszechświecie cząstki antymaterii anihilowały z cząstkami materii, a pozostała nadwyżka materii przetrwała do dnia dzisiejszego, wpływając na charakter zamieszkanego przez nas Wszechświata.

Gdyby asymetria wynosiła jeden do miliarda, i tak pozostałoby wystarczająco wiele materii, aby stworzyć to wszystko, co widzimy dzisiaj. Faktycznie tak duża asymetria tłumaczy wszystko, ponieważ dzisiaj na jeden proton we Wszechświecie przypada około jednego miliarda fotonów w mikrofalowym promieniowaniu tła. W takim obrazie fotony te są pozostałością anihilacji materii z antymaterią u zarania czasu.

Nie ma dotąd ostatecznego dowodu, jak ten proces mógł zachodzić, ponieważ brak nam pełnej empirycznej wiedzy o naturze mikroświata w skalach, w których taka asymetria mogłaby

powstawać. Pomimo to bada się mnóstwo możliwych scenariuszy opartych na najlepszych dostępnych pomysłach, jakie podsuwa fizyka. Chociaż różnią się w szczegółach, wszystkie mają ogólnie tę samą charakterystykę. Kwantowe procesy związane z cząstkami elementarnymi istniejącymi w pierwotnej plazmie niepowstrzymanie i prawie niezauważalnie kierują pusty Wszechświat (albo równoważnie początkowo symetryczny pod względem zapełnienia materią i antymaterią) ku przekształceniu się w taki, który będzie później zdominowany przez materię lub antymaterię.

Jeśli proces ów zachodził zgodnie z jednym z tych scenariuszy, to czy jest dziełem przypadku, że nasz Wszechświat jest zdominowany przez materię? Wyobraźmy sobie, że potykamy się na szczycie wysokiej góry. Kierunek, w którym będziemy spadać, nie był z góry wyznaczony, ale jest raczej dziełem przypadku, zależy od strony, w którą patrzyliśmy, albo od tego, w którym momencie się potknęliśmy. Być może podobnie jest z naszym Wszechświatem, nawet gdy prawa fizyki są stałe, ostateczny kierunek asymetrii między materią i antymaterią wyznaczyły jakieś losowe warunki początkowe (tak jak w wypadku potknięcia się na górze prawo grawitacji jest niezmienne i powoduje, że spadamy, ale kierunek spadania może być przypadkowy). Podkreślmy jeszcze raz, nasza egzystencja w tym scenariuszu może być dziełem zdarzeń losowych.

Niezależnie jednak od tej niepewności, czy nie jest niezwykły fakt, że podstawowe prawa fizyki umożliwiają procesom kwantowym sterowanie Wszechświatem, tak aby nie stał się bezpostaciowy, pozbawiony jakichkolwiek własności? Frank Wilczek, pierwszy teoretyk badający te możliwości, przypomniał mi, że w artykule, jaki napisał w 1980 roku do „Scientific American" o asymetrii materia–antymateria, posługiwał się takim samym językiem jak ja. Po opisaniu, jak w świetle nowej wiedzy w zakresie fizyki cząstek elementarnych we wczesnym Wszechświecie mogła tworzyć się asymetria materia–antymateria, dodał uwagę, że jest to jedna z możliwych odpowiedzi na pytanie, dlaczego jest raczej coś niż nic. *Nic* jest niestabilne.

Wniosek Wilczka jest taki, że zmierzona nadwyżka materii nad antymaterią na pierwszy rzut oka przeczy tezie, jakoby Wszechświat

mógł powstać z niestabilności pustej przestrzeni, z nicości powodującej Wielki Wybuch. Natomiast jeśli asymetria powstaje dynamicznie po Wielkim Wybuchu, to ta bariera znika. Wilczek ujmuje to tak:

> Domyślamy się, że Wszechświat powstał w najbardziej symetrycznym stanie i że w tym stanie nie istniała materia, Wszechświat był bowiem próżnią. Pojawił się też drugi stan, a w nim istniała materia. Ten drugi stan miał trochę mniejszą symetrię, ale też niską energię. W końcu utworzył się zarodek fazy o mniejszej symetrii i zaczął gwałtownie się powiększać. Energia uwolniona w trakcie przejścia przekształciła się w powstające cząstki. To wydarzenie można identyfikować z Wielkim Wybuchem... Odpowiedź na pradawne pytanie „dlaczego raczej jest coś niż nic?" powinna brzmieć, że „nic" jest niestabilne.

Jednak zanim przejdziemy dalej, znów przypominają mi się podobieństwa między rozważaniami o asymetrii materia–antymateria a dyskusjami, jakie w ramach programu „Origins Project" toczyliśmy o współczesnym poglądzie na to, czym jest życie we Wszechświecie i jaki był jego początek. Słowa, których wówczas użyłem, były inne, ale podstawowe zagadnienia są niezwykle podobne. Jaki proces fizyczny we wczesnych momentach historii Ziemi mógłby doprowadzić do powstania pierwszych samopowielających się biomolekuł i do ich metabolizmu? Tak jak w latach siedemdziesiątych XX wieku w fizyce, podobnie w biologii molekularnej w ostatniej dekadzie nastąpił niesamowity postęp. Na przykład poznaliśmy, jak w sposób naturalny w sprzyjających warunkach może zsyntetyzować się kwas rybonukleinowy długo uważany za prekursora DNA, na którym opiera się budowa wszystkich organizmów naszego współczesnego świata. Dotąd uważano, że nie istnieją takie naturalne możliwości i dlatego musiały się pojawić jakieś bardzo istotne formy przejściowe.

Teraz tylko kilku biochemików i biologów molekularnych powątpiewa w to, że życie może powstać naturalnie z materii nieożywionej, nawet jeśli szczegóły nie zostały dotąd jeszcze poznane. W toku naszej dyskusji nad tym zagadnieniem obrady uczonych przenikała wspólna myśl. Czy życie *musiało* pojawić się po raz pierwszy na Ziemi dzięki chemii, czy też jest wiele innych, równie prawdopodobnych możliwości?

Einstein kiedyś zadał pytanie, twierdząc, że chodzi mu o jedyną rzecz, jaką chciałby wiedzieć o naturze. Muszę przyznać, że jest to najgłębsze i najbardziej podstawowe pytanie, na które każdy z nas chciałby usłyszeć odpowiedź. Sformułował je tak: „chciałbym się dowiedzieć, czy *Bóg* [sic] miał jakikolwiek wybór podczas kreacji Wszechświata".

Dodałem to zaznaczenie, ponieważ Bóg Einsteina nie był Bogiem biblijnym. Einstein w głębokim zachwycie odczuwał istnienie porządku we Wszechświecie, porządku, z którym czuł duchową więź i jak Spinoza nadawał mu imię „Boga". W każdym razie to, co Einstein naprawdę chciał wyrazić tym pytaniem, właśnie opisałem w kontekście wielu różnych przykładów. Czy są tylko jedne prawa natury? Czy Wszechświat, w którym żyjemy, powstały na skutek tych praw, jest tylko jeden? Jeśli zmienimy jeden zaledwie aspekt, jedną podstawową stałą, jedno oddziaływanie, jakkolwiek słabe, czy cały gmach się zawali? Czy biologia życia jest jedyna z punktu widzenia biologii? Czy jesteśmy unikatowymi istotami we Wszechświecie? Do tego najważniejszego zagadnienia powrócimy później.

Chociaż takie rozważania zmuszają nas do udoskonalania i szerszego uogólniania pojęcia „niczego" i „czegoś", to chcę teraz powrócić do przedstawienia argumentów w pośrednim kroku dowodzenia nieuniknionej kreacji czegoś.

Jak dotąd definiowałem to „nic", z którego powstało nasze obserwowalne „coś", jako „pustą przestrzeń". Jednak gdy zastosujemy mechanikę kwantową do ogólnej teorii względności, możemy rozszerzyć to rozumowanie na przypadek powstawania samej przestrzeni.

Ogólna teoria względności jako teoria grawitacji jest w swej istocie teorią czasu i przestrzeni. Jak już pisałem na samym początku tej

książki, oznacza to, że jest to pierwsza teoria, która mogła zająć się nie tylko dynamiką obiektów poruszających się w przestrzeni, lecz także tym, jak sama przestrzeń ewoluuje.

Kwantowa teoria grawitacji musi więc oznaczać, że zasady mechaniki kwantowej stosuje się również do samej przestrzeni, a nie tylko do obiektów w niej istniejących, jak w konwencjonalnej mechanice kwantowej.

Bardzo trudno rozszerzyć mechanikę kwantową, tak aby objęła także te możliwości, ale formalizm rozwinięty przez Richarda Feynmana, który doprowadził do zrozumienia, czym są antycząstki, jest tutaj bardzo pomocny. Metoda Feynmana uwzględnia kluczowy fakt, do którego nawiązywałem na początku tego rozdziału. Układy kwantowomechaniczne podczas swej ewolucji wykorzystują wszystkie trajektorie, nawet te, które są klasycznie zabronione.

Aby to wykorzystać w teoretycznych przewidywaniach, Feynman stworzył „sumę po wszystkich trajektoriach". Rozważamy mianowicie wszystkie trajektorie między dwoma punktami, po jakich cząstka mogłaby się poruszać. Potem przypisujemy każdej trajektorii wagę wyrażoną prawdopodobieństwem zdefiniowanym na podstawie zasad kwantowomechanicznych i w końcu sumujemy wszystkie trajektorie, aby ustalić ostateczne (probabilistyczne) przewidywanie ruchu cząstki.

Stephen Hawking był pierwszym badaczem, który w pełni wykorzystał ten pomysł do próby stworzenia mechaniki kwantowej czasoprzestrzeni (połączenia trzech wymiarów przestrzennych z jednym czasowym, aby skonstruować czterowymiarowy zunifikowany układ czasoprzestrzenny, jak wymaga tego ogólna teoria względności Einsteina). Zaletą metody Feynmana jest to, że branie pod uwagę wszystkich możliwych trajektorii uniezależnia rozważania od szczególnych zmiennych przestrzennych i czasowych przypisywanych każdemu punktowi na każdej z trajektorii. Teoria względności mówi nam, że różni obserwatorzy podczas ich ruchu względnego będą mierzyć odległości i czas odmiennie i otrzymywać różne wartości w każdym punkcie czasoprzestrzeni, dlatego szczególnie użyteczne jest posiadanie formalizmu niezależnego

od wartości, jakie obserwatorzy mogliby przypisać każdemu z punktów czasoprzestrzeni.

Jest to szczególnie użyteczne w ogólnej teorii względności, gdy różni obserwatorzy mierzą różnie czas i odległość w różnych punktach pola grawitacyjnego, a ostatecznie o własnościach układu decyduje jego geometria opisana przez krzywiznę czasoprzestrzeni, która okazuje się niezależna od wszystkich tych schematów oznaczania punktów w czasoprzestrzeni.

Jak już wielokrotnie pisałem, ogólna teoria względności nie jest całkowicie spójna z mechaniką kwantową, przynajmniej o tyle, o ile nam wiadomo, i dlatego nie istnieje całkowicie jednoznaczna metoda definiowania w ogólnej teorii względności sumy po trajektoriach w technice rachunkowej Feynmana. Dlatego musimy przyjmować z góry pewne założenia oparte na prawdopodobieństwie, a potem sprawdzać, czy rezultaty mają sens fizyczny.

Jeśli mamy rozważać dynamikę kwantową czasoprzestrzeni, to w „sumach" Feynmana musimy uwzględnić każdą możliwą konfigurację opisującą różne geometrie, jakie przestrzeń może przyjąć podczas etapów pośrednich jakiegokolwiek procesu, gdy niepodzielnie króluje kwantowa zasada nieokreśloności. Oznacza to, że musimy brać pod uwagę przestrzenie, które mogą mieć dowolnie wielką krzywiznę na dowolnie małych odległościach i w dowolnie krótkich przedziałach czasu (tak małych i tak krótkich, że nie potrafimy tego zmierzyć, a to oznacza, że rządzi tam niepodzielnie kwantowa dziwaczność). Te dziwaczne konfiguracje nie mogą być potem obserwowane przez klasycznego obserwatora mierzącego zjawiska na dużych odległościach i w dużych przedziałach czasu.

Rozważmy jeszcze dziwniejsze możliwości. Pamiętajmy, że w kwantowej teorii elektromagnetyzmu cząstki mogą w dowolnej chwili pojawiać się w pustej przestrzeni, pod warunkiem iż później, w czasie spełniającym zasadę nieoznaczoności, znikają. Czy zatem w kwantowej sumie Feynmana po wszystkich możliwych konfiguracjach czasoprzestrzeni przez analogię powinniśmy rozważyć istnienie małych, ciasno upakowanych przestrzeni, które pojawiają się i znikają w pustej przestrzeni? A jeszcze bardziej ogólnie, co

z przestrzeniami, które mogą mieć „dziury” albo „uchwyty”, na kształt pączków z dziurką, zanurzone w czasoprzestrzeni?

Są to zagadnienia dotąd nierozwiązane. Jednak jeśli ktoś nie poda dobrego powodu do wykluczenia takich konfiguracji z sumy kwantowomechanicznej, która określa własności ewoluującego Wszechświata, a o ile wiem, nikt dotąd go nie podał, to zgodnie z ogólną zasadą obowiązującą w naturze – to znaczy, jeśli coś nie jest sprzeczne z prawami fizyki, to w rzeczywistości musi się wydarzyć – ich uwzględnienie wydaje się uzasadnione.

Jak podkreślał Stephen Hawking, kwantowa teoria grawitacji pozwala na kreację samej przestrzeni, choć może tylko chwilową, w miejscu, gdzie nic wcześniej nie istniało. Mimo że w swych badaniach naukowych nie usiłował rozwiązywać zagadki „czegoś z niczego”, to ostatecznie kwantowa grawitacja może tego dokonać.

„Wirtualne” wszechświaty – małe zwarte przestrzenie, które mogą pojawiać się i znikać w skali czasowej tak krótkiej, że nie da się jej bezpośrednio mierzyć – są fascynującymi pomysłami teoretycznymi, ale nie wydaje się, by pomogły lepiej niż cząstki wirtualne zapełniające skądinąd pustą przestrzeń wyjaśnić, jak w dłuższej skali czasowej coś może powstać z niczego.

Pamiętamy jednak, że niezerowe pole elektryczne obserwowane z dużej odległości od naładowanej cząstki powstaje w wyniku koherentnej emisji z ładunku wielu wirtualnych fotonów niosących zerową energię. Dzieje się tak, ponieważ wirtualne fotony niosące zerową energię nie naruszają zasady zachowania energii podczas swej emisji. Dlatego ich istnienie nie jest sprzeczne z zasadą nieoznaczoności Heisenberga, o ile zostaną wchłonięte i przestaną istnieć w wystarczająco krótkim czasie. (Znów przypomnijmy: zasada nieoznaczoności mówi o nieokreśloności pomiaru energii cząstki, a tym samym o możliwości zmiany jej energii przez emisję i absorpcję wirtualnych cząstek, że jest proporcjonalna do odwrotności czasu, w jakim dokonujemy pomiaru. Stąd cząstki wirtualne, które niosą ze sobą zerową energię, mogą robić to prawie bezkarnie – to znaczy zanim zostaną zaabsorbowane z powrotem, mogą istnieć przez dowolnie długi czas i przemieszczać się na odległości dowolnie duże… powodując dalekozasięgowe

oddziaływanie pomiędzy cząstkami naładowanymi elektrycznie. Jeśli foton nie byłby bezmasowy, czyli zawsze unosił energię swej masy spoczynkowej, to zasada nieoznaczoności spowodowałaby, że pole elektryczne byłoby krótkozasięgowe, fotony bowiem mogłyby być propagowane na niewielkie odległości i w krótkim czasie, zanim zostałyby ponownie zaabsorbowane).

Podobna argumentacja wskazuje, że można wyobrazić sobie jeden szczególny typ wszechświata, który mógłby spontanicznie pojawiać się bez konieczności prawie natychmiastowego znikania z powodu zasady zachowania energii i zasady nieoznaczoności. A mianowicie gęsty wszechświat o całkowitej energii równej zeru.

Nie miałbym nic przeciwko sugestii, że jest to właśnie ten, w którym żyjemy. Byłoby to proste wyjście, ale tu bardziej chodzi o prawdę zgodną z obecnym naszym stanem wiedzy o Wszechświecie niż wyszukiwanie pozornie łatwego i wiarygodnego wytłumaczenia jego powstania z niczego.

Dowodziłem, jak sądzę, przekonująco, że średnia newtonowska energia grawitacyjna każdego obiektu w naszym płaskim Wszechświecie wynosi zero. I tak jest. To jednak nie wszystko. Energia grawitacyjna nie jest całkowitą energią każdego obiektu. Musimy do niej dodać energię spoczynkową związaną z jego masą spoczynkową. Ujmując inaczej, jak już wcześniej pisałem, powiemy, że energia grawitacyjna obiektu w spoczynku i odizolowanego od wszystkich innych obiektów odległością nieskończenie wielką jest równa zeru, ponieważ jeśli obiekt jest w spoczynku, to nie ma energii kinetycznej, a jeśli jest nieskończenie daleko od wszystkich innych obiektów, to siła grawitacyjna wywierana na niego przez inne obiekty, która dostarcza mu energii potencjalnej, jest także równa zeru. Jednak, jak naucza Einstein, całkowita energia obiektu jest nie tylko związana z grawitacją, lecz także z jego masą zgodnie ze sławnym wzorem $E = mc^2$.

Aby uwzględnić tę energię spoczynkową, musimy porzucić grawitację newtonowską i przejść do ogólnej teorii względności, która z definicji zawiera też szczególną teorię względności (i $E = mc^2$). I tu sprawy stają się bardziej delikatne i bardziej zagmatwane.

W małych skalach w porównaniu z krzywizną Wszechświata, jeżeli wszystkie obiekty w tej skali poruszają się wolno w porównaniu z prędkością światła, to ogólna relatywistyczna wersja energii powraca do definicji znanej nam z fizyki newtonowskiej. Jednak gdy tylko te warunki przestają obowiązywać, już trudno cokolwiek przewidzieć.

Częścią problemu jest to, że energia, jak ją normalnie rozumiemy w jakiejkolwiek innej dziedzinie fizyki, nie jest dobrze zdefiniowanym pojęciem w olbrzymiej skali zakrzywionego Wszechświata. Rozmaite sposoby wyboru układu współrzędnych i określania punktów w czasoprzestrzeni przez różnych obserwatorów (nazywane różnymi „układami odniesienia") mogą prowadzić, w olbrzymiej skali, do różnych energii całkowitych układu. Aby uwzględnić te efekty, musimy uogólnić koncepcję energii i ponadto, jeśli mamy zdefiniować całkowitą energię zawartą we Wszechświecie, musimy zastanowić się, w jaki sposób dodawać energie wszechświatów, które mogą być nieskończone w swych rozmiarach.

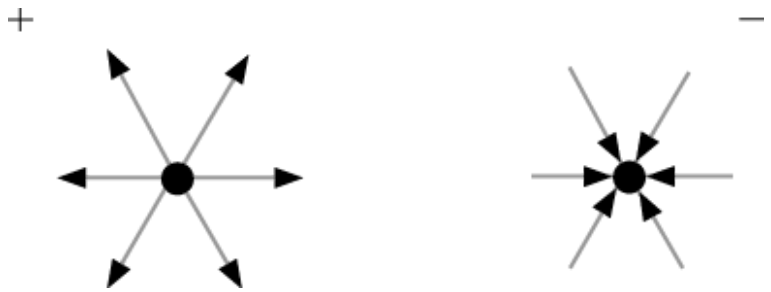
Uczeni toczyli bardzo wiele dyskusji, jak to zrobić. A literatura naukowa obfituje w różne pomysły rozwiązań tego zagadnienia.

Pewne jest, że istnieje jeden wszechświat, w którym energia całkowita jest definitywnie i dokładnie równa zeru. Nie jest to jednak wszechświat płaski, który z zasady jest nieskończony w swych rozmiarach przestrzennych, i dlatego obliczenia całkowitej energii stają się skomplikowane. Jest to wszechświat zamknięty, taki, w którym gęstość materii i energii jest wystarczająca do spowodowania, że przestrzeń zamknie się w sobie. Jak już opisywałem, w zamkniętym wszechświecie, jeśli będzie się dostatecznie daleko patrzyło w jednym kierunku, zobaczy się tył własnej głowy!

Powód, dla którego energia zamkniętego wszechświata jest równa zeru, okazuje się względnie prosty. Najłatwiej rozważyć to zagadnienie przez analogię do faktu, że w zamkniętym wszechświecie całkowity ładunek elektryczny też musi wynosić zero.

Od czasów Michaela Faradaya przyjmujemy, że źródłem pola elektrycznego jest ładunek elektryczny (we współczesnym języku pole powstaje w wyniku emisji wirtualnych fotonów). Obrazowo

wyobrażamy sobie „linie pola” wychodzące radialnie z ładunku, z tym że ich liczba jest proporcjonalna do ładunku, a kierunek linii zwrócony na zewnątrz dla ładunków dodatnich, a do wewnątrz dla ładunków ujemnych, jak pokazano na rysunku.




Linie te biegną ku nieskończoności, a rozprzestrzeniając się, oddalają się od siebie coraz bardziej. Wskazuje to, że natężenie pola elektrycznego staje się coraz słabsze. Natomiast w zamkniętym wszechświecie linie pola pochodzące od, na przykład, dodatniego ładunku, rozchodząc się coraz bardziej od siebie, tak jak linie południków na globusie skupiające się w biegunach południowym i północnym, w końcu będą zbiegać się ponownie w oddalonej części wszechświata. Gdy będą się skupiać, pole będzie stawać się znowu coraz silniejsze, aż do momentu, gdy stanie się na tyle silne, by stworzyć w tym leżącym na antypodach punkcie wszechświata ujemny ładunek, który „połknie” linie pola.

Okazuje się, że bardzo podobne rozumowanie, ale teraz dotyczące nie „strumienia” linii pola, jak przedtem, lecz „strumienia” energii w zamkniętym wszechświecie, wskazuje, iż dodatnia całkowita energia, w tym energia związana z masą spoczynkową cząstek, musi być dokładnie zrównoważona przez ujemną energię grawitacyjną, tak aby całkowita energia równała się zeru.

Tak więc jeśli całkowita energia w zamkniętym wszechświecie jest równa zeru i jeśli dysponujemy odpowiednim formalizmem sumowania po wszystkich trajektoriach w kwantowej grawitacji, wówczas taki wszechświat może pojawić się spontanicznie, niosąc ze sobą zerową energię. Pragnę podkreślić, że takie twory byłyby

całkowicie zamkniętymi w sobie czasoprzestrzeniami, zupełnie oddzielonymi od naszego Wszechświata.

Jest jednak pewna komplikacja. Zamknięty i rozszerzający się wszechświat wypełniony materią ogólnie rozszerzałby się do maksymalnego rozmiaru, a potem tak samo szybko zapadał się w sobie, kończąc w osobliwości czasoprzestrzeni, o której, nie mając jeszcze kwantowej grawitacji, nic nie możemy powiedzieć. Charakterystyczny czas życia maleńkich zamkniętych wszechświatów będzie z tego powodu rzędu „czasu Plancka", wielkości charakterystycznej dla skali czasowej procesów kwantowych, wynoszącej około $10^{-44}$ sekundy.

Jednak jest jakieś wyjście z tego dylematu. Jeśli konfiguracja pól wewnątrz takiego wszechświata stworzy okres inflacyjny, zanim dozna on kolapsu, to wtedy nawet początkowo maleńki zamknięty wszechświat może nagle wykładniczo się rozszerzyć, dążąc do coraz bardziej i bardziej nieskończenie wielkiego i płaskiego wszechświata. W trakcie trwania inflacji po około stu podwojeniach swej objętości wszechświat ten będzie tak bliski płaskości, że może trwać znacznie dłużej bez konieczności kolapsu, niż trwa nasz.

Istnieje jeszcze inna możliwość; wprawia mnie ona w nostalgię (i zazdrość), ponieważ była to dla mnie ważna lekcja. Gdy po doktoracie znalazłem się na Harvardzie, gdzie bawiłem się mechaniką kwantową w polach grawitacyjnych, dowiedziałem się o rezultacie otrzymanym przez mego przyjaciela Iana Afflecka. Affleck jest Kanadyjczykiem i uzyskał magisterium na Harvardzie, podczas gdy ja – w MIT. Został członkiem Harvard Society of Fellows[5] kilka lat przede mną. Posługiwał się matematyczną teorią Feynmana zwaną kwantową teorią pola, badając zagadnienia powstawania cząstek i antycząstek w silnym polu magnetycznym.

[5] Stowarzyszenie uczonych wybranych ze względu na szczególnie wybitne osiągnięcia na początku ich kariery naukowej (przyp. red.).

Zdałem sobie sprawę, że postać rozwiązania, jakie otrzymał Ian, coś nazywanego „instantonem", bardzo przypomina rozszerzający się

wszechświat, jeśli zastosuje się jego formalizm w odniesieniu do grawitacji. Wyglądało to na wszechświat poddany inflacji, który powstał z niczego! Zanim zabrałem się do pisania publikacji, zastanawiałem się jeszcze, jak ten matematyczny rezultat można fizycznie zinterpretować. Wkrótce jednak dowiedziałem się, że w czasie mych rozmyślań tuż obok bardzo zdolny kosmolog, o którym wcześniej wspominałem, mój przyjaciel Alex Vilenkin, napisał już pracę, w której pokazał, w jaki sposób kwantowa grawitacja może prowadzić do pojawienia się inflacyjnego wszechświata z niczego. Zostałem wyprzedzony, ale nie martwiłem się za bardzo, ponieważ (a) szczerze mówiąc, nie rozumiałem szczegółów tego, co robię i (b) Alex miał tę odwagę, aby przedstawić coś, czego ja wtedy nie zaproponowałem. Nauczyłem się wówczas, że nie trzeba rozumieć wszystkich implikacji swego odkrycia, aby je opublikować. Tak naprawdę to zrozumiałem w pełni kilka mych bardzo ważnych prac dopiero jakiś czas po ich opublikowaniu.

W każdym razie gdy Stephen Hawking i jego współpracownik Jim Hartle zaproponowali bardzo odmienny schemat określenia „warunków granicznych" wszechświata, który mógłby powstać z niczego, najważniejsze fakty były takie:

1. W kwantowej grawitacji wszechświaty mogą, i w istocie zawsze będą, spontanicznie powstawać z niczego. Takie wszechświaty nie muszą być puste, mogą zawierać materię i promieniowanie, o ile całkowita energia, w tym ujemna energia związana z grawitacją, będzie równa zeru.
2. Aby ten zamknięty wszechświat stworzony przez taki mechanizm mógł trwać dłużej niż nieskończenie mały moment, potrzebny jest proces podobny do inflacji. W rezultacie realizacji takiego scenariusza jedyny długowieczny wszechświat, jakiego można oczekiwać, powinien być obecnie płaski, tak jak ten, w którym żyjemy.

Lekcja, jaką otrzymałem, jest jasna, wygląda na to, że kwantowa grawitacja nie tylko pozwala na kreację wszechświata z niczego –

w tym wypadku oznacza to brak przestrzeni i czasu – ale wręcz tego wymaga. „Nic” – tutaj brak przestrzeni, brak czasu, brak czegokolwiek! – *jest* niestabilne.

Ponadto ogólna charakterystyka takiego wszechświata, jeśli trwa on długi czas, powinna być właśnie taka, jaką obserwujemy obecnie w naszym.

Czy dowodzi to, że nasz Wszechświat powstał z niczego? Oczywiście nie. Ale prowadzi nas o duży krok dalej w kierunku możliwości takiego scenariusza. Usuwa także jeszcze jedną z obiekcji wysuwanych przeciwko tezie o kreacji z niczego, jaką opisałem w poprzednim rozdziale. Tam „nic” oznaczało pustą, ale uprzednio istniejącą przestrzeń powiązaną z ustalonymi i powszechnie znanymi prawami fizyki. A teraz wymaganie przestrzeni zostało usunięte.

Tymczasem, jak zaraz się dowiemy, nawet same prawa fizyki nie muszą być potrzebne ani wymagane.

# Rozdział 11

# Nowe wspaniałe światy

*Były to czasy najlepsze i były to czasy najgorsze.*

Karol Dickens

Główny problem, jaki stwarza pojęcie kreacji, polega na tym, że wymaga ona *uprzedniego istnienia* czegoś na zewnątrz układu, czegoś, co stworzyło warunki konieczne do zaistnienia układu. A ponieważ odpowiedzialność musi na kimś spocząć, jest to moment, gdy pojawia się pojęcie Boga – zewnętrznego bytu istniejącego niezależnie od przestrzeni, czasu i w istocie od fizycznej rzeczywistości. W tym sensie *Bóg* wydaje mi się płytkim semantycznym rozwiązaniem bardzo istotnego zagadnienia kreacji. Myślę, że najlepiej wyjaśnia to kontekst nieco innego przykładu – powstania moralności, co uzmysłowił mi mój przyjaciel Steven Pinker.

Czy moralność jest czymś zewnętrznym i absolutnym, czy powstała w kontekście naszej biologii i naszego środowiska naturalnego i czy w takim razie nauka może ją opisać? Podczas debaty zorganizowanej na ten temat na Uniwersytecie Stanowym Arizony, Pinker przedstawił następującą łamigłówkę.

Jeśli ktoś dowodzi, jak czyni to wiele głęboko wierzących osób, że bez Boga nie istniałyby pojęcia dobra i zła – to znaczy Bóg nakazuje nam, co jest dobre, a co złe – można wtedy zapytać: A co by zrobili, gdyby na mocy boskiego przykazania gwałt i morderstwo stały się moralnie dopuszczalne? Czy przyjęliby to przykazanie?

Chociaż wielu mogłoby odpowiedzieć „tak”, ja myślę, że większość wierzących odpowiedziałaby „nie”, Bóg by tego nie nakazał. Ale dlaczego nie? Być może dlatego, że z jakiejś przyczyny nie chce tego uczynić. A może dlatego, że gwałt i morderstwo są amoralne. Skoro zaś Bóg miałby odwoływać się do przyczyny, to dlaczego nie wyeliminować całkowicie pośrednika?

Moglibyśmy zastosować podobne rozumowanie do kreacji naszego Wszechświata. Wszystkie przykłady, jakie dotąd zaprezentowałem, dotyczą kreacji czegoś z tego, co można uważać za nic, ale *zasady* obowiązujące podczas tego procesu, na przykład prawa fizyki, zostały ustalone uprzednio. Skąd się więc wzięły?

Są dwie możliwości. Albo Bóg czy jakaś istota boska, która nie jest skrępowana prawami, która żyje poza nimi, określił je – na zasadzie zachcianki albo premedytacji – albo powstały dzięki jakiemuś mniej nadnaturalnemu mechanizmowi.

Problem z Bogiem ustanawiającym prawa jest taki, że można zapytać, co, albo kto, ustanawia prawa rządzące Bogiem. Tradycyjnie odpowiedź na tego typu pytanie w języku Kościoła katolickiego brzmi: Bóg jest *przyczyną wszystkich przyczyn*, albo wedle Tomasza z Akwinu: *Pierwszą Przyczyną*, albo też jak twierdził Arystoteles *Pierwszym Poruszycielem*.

Co ciekawe, Arystoteles dostrzegł problem pierwszej przyczyny i z tego powodu zdecydował, że Wszechświat musi być wieczny. Ponadto Bóg, którego utożsamiał z czystą myślą samą w sobie, do której wszystkie rzeczy dążą kierowane tęsknotą, musi być wieczny; to nie on sprawia, że wszystko się porusza, gdyż stworzył ku temu warunki, ale raczej staje się ostatecznym celem owego ruchu, który z kolei Arystoteles uznawał za wieczny.

Arystoteles przeczuwał, że zrównanie Pierwszej Przyczyny z Bogiem jest mniej niż satysfakcjonujące, w obliczu niedoskonałości platonicznego pojęcia Pierwszej Przyczyny. Uważał, że każda przyczyna musi mieć swoją poprzedniczkę – stąd wymaganie, aby Wszechświat był wieczny. Alternatywne założenie, że Bóg jest przyczyną wszystkich przyczyn i dlatego jest wieczny, nawet gdy nasz Wszechświat taki nie jest, istotnie likwiduje prowadzący do absurdu ciąg pytań „dlaczego”. Jednak jak już podkreślałem, dzieje

się to kosztem wprowadzenia niezwykłego, wszechmogącego bytu, na którego istnienie nie ma innych dowodów.

I tutaj pojawia się inne ważne zagadnienie. Oczywista logiczna konieczność istnienia Pierwszej Przyczyny jest zagadnieniem rzeczywistym dla każdego wszechświata, który ma początek. Dlatego tylko na podstawie logicznego rozumowania nie można odrzucić tego deistycznego poglądu na naturę, chociaż nawet w tym wypadku trzeba zauważyć, iż taka siła wyższa nie ma żadnego związku logicznego z osobowymi bóstwami największych religii świata, pomimo że jest ona wykorzystywana do ich uzasadnienia. Na tej samej zasadzie deista poszukujący inteligencji ustanawiającej porządek rzeczy w naturze nie będzie się skłaniał ku Bogu ze świętych ksiąg.

Przez tysiąclecia trwały debaty i dyskusje nad tymi zagadnieniami pomiędzy znakomitymi i mniej znakomitymi umysłami, z tym że wielu tych mniej znakomitych uczyniło sobie z tego źródło utrzymania. Możemy teraz powrócić do tych zagadnień, ponieważ mamy po prostu znacznie większą wiedzę o fizycznej naturze rzeczywistości. Ani Arystoteles, ani św. Tomasz z Akwinu nie wiedzieli o istnieniu naszej Galaktyki, nie wspominając już o Wielkim Wybuchu ani mechanice kwantowej. Stąd zagadnienia, jakimi się oni zajmowali, a po nich średniowieczni filozofowie, muszą zostać zinterpretowane i zrozumiane w świetle nowej wiedzy.

Na przykład rozważmy w ramach naszej nowoczesnej kosmologii twierdzenie Arystotelesa, że nie ma Pierwszych Przyczyn albo raczej że przyczyny istotnie tworzą wstecz (i w przód) nieskończony łańcuch. Nie ma ani początku, ani kreacji, ani końca.

Gdy opisywałem dotąd, jak coś może powstać z „niczego”, skupiałem uwagę albo na kreacji czegoś z uprzednio istniejącej pustej przestrzeni, albo stworzeniu pustej przestrzeni z nieistniejącej w ogóle przestrzeni. Oba warunki początkowe pasują, gdy rozważam „brak istnienia”, i dlatego są dobrymi kandydatami na pojęcie nicości. Jednak nie zajmowałem się bezpośrednio tym, co mogłoby istnieć, o ile coś mogło, zanim nastąpiła taka kreacja i jakim prawom ona podlegała, albo, ujmując bardziej ogólnie, nie zastanawiałem się, co ktoś mógłby uważać za zagadnienie Pierwszej Przyczyny. Najprościej

oczywiście można przyjąć, że istniała uprzednio i była wieczna albo pusta przestrzeń, albo bardziej podstawowa nicość, z której mogła powstać pusta przestrzeń. Jednak, trzeba uczciwie przyznać, nasuwa się pytanie, na które może nie być odpowiedzi. Co stworzyło prawa, którym podlegała kreacja?

Jedna rzecz jest pewna. Metafizyczna „zasada", traktowana jak żelazna reguła przez tych, z którymi prowadziłem dyskusje o kreacji, głosząca, że „z niczego nic nie powstaje", nie ma oparcia w nauce. Przekonywanie, że to samo w sobie jest oczywiste, niezachwiane i nie do obalenia, przypomina fałszywe przekonanie Darwina o tym, że źródło życia leży poza nauką, przekonanie, które oparł na analogii do równie nieprawdziwego poglądu, że materia nie może być kreowana ani niszczona. To wszystko wynika z niechęci do uznania prostego faktu, że natura może być bardziej pomysłowa od filozofów i teologów.

Ponadto ci, którzy twierdzą, że z niczego nic nie powstaje, wydają się zupełnie zadowoleni z donkiszotowskiej myśli, że Bóg jakoś to obejdzie. A poza tym jeśli ktoś domaga się, aby prawdziwa nicość nie mogła być nawet *możliwością* istnienia czegokolwiek, to oczywiście Bóg nie mógł stworzyć swych cudów natury, ponieważ gdyby je stworzył, powołałby do życia istnienie z nieistnienia, a to oznaczało możliwość istnienia. Twierdzenie, że Bóg może uczynić to, czego nie może natura, jest dowodzeniem, że *nadprzyrodzona* możliwość istnienia jest w jakiś sposób inna od naturalnej możliwości istnienia. Wygląda to jednak na arbitralne semantyczne rozróżnienie opracowane przez tych, którzy decydują z góry (jak mają w zwyczaju teolodzy), że siły nadprzyrodzone (np. Bóg) muszą istnieć, dlatego więc definiują swe idee filozoficzne (zupełnie pozbawione empirycznych podstaw), tak aby wykluczyć wszystko poza istnieniem Boga.

W każdym razie istnienie Boga, który rozwiąże tę zagadkę, jak już wielokrotnie podkreślałem, wiąże się z wymaganiem, aby istniał on na zewnątrz Wszechświata i był wieczny albo ponadczasowy.

Nasza współczesna wiedza o Wszechświecie umożliwia inne, znacznie bardziej fizyczne rozwiązanie tego problemu, które jednak

ma pewne cechy zewnętrznego kreatora – ale poza tym jest logicznie bardziej spójne.

Mam tu na myśli wieloświat. Wielkie możliwości zrozumienia naszej własnej egzystencji otwiera perspektywa należenia Wszechświata do ogromnego, a być może nawet nieskończonego zbioru przyczynowo rozdzielonych wszechświatów, w których każdy aspekt fizycznej rzeczywistości może być zupełnie odmienny.

Jak już wspominałem, jedną z budzących odrazę implikacji takiego założenia jest to, że w jakimś podstawowym sensie fizyka staje się wówczas jedynie nauką o środowisku. (Budzi to moją odrazę, ponieważ wyznaję pogląd, że celem nauki jest wyjaśnienie, dlaczego Wszechświat musi być taki, jaki jest, i jak do tego doszło. Jeśli natomiast prawa fizyki, jakie znamy, są jedynie przypadkowo związane z naszym istnieniem, to ten zasadniczy cel gdzieś się zawieruszył. Gdyby jednak ta idea okazała się prawdziwa, jestem gotów odrzucić swe uprzedzenia). W tym wypadku podstawowe oddziaływania i stałe natury nie są bardziej podstawowe niż odległość Ziemia–Słońce. Nasze istnienie na Ziemi, a nie na Marsie, nie jest konsekwencją tego, że w odległości Ziemia–Słońce tkwi jakaś głęboka zasada, ale raczej wynika z tego, że gdyby Ziemia znajdowała się w innym położeniu, to wtedy życie, jakie znamy, nie mogłoby wyewoluować na naszej planecie.

Te antropiczne argumenty, jak powszechnie wiadomo, są niewiarygodne i nie można na ich podstawie snuć jakichkolwiek przewidywań, nie znając rozkładu prawdopodobieństwa stałych uniwersalnych ani podstawowych oddziaływań we wszystkich możliwych wszechświatach – to znaczy nie mając pojęcia, które z nich się zmieniają, a które nie i jakie możliwe wartości i formy mogą przyjmować – a także nie wiedząc, jak bardzo „typowi" jesteśmy we własnym Wszechświecie. Jeśli nie jesteśmy „typowymi" formami życia, to antropiczna selekcja, jeśli taka występuje, może być zależna od innych czynników, których w przeciwnym wypadku nie uwzględnilibyśmy.

Pomimo to wieloświat, zarówno w formie krajobrazu wszechświatów istniejących w ogromnej liczbie wymiarów dodatkowych, jak i w formie nieskończonego zbioru powtarzających

się wszechświatów w trójwymiarowej przestrzeni w scenariuszu wiecznej inflacji, zmienia zupełnie obraz zagadnienia kreacji naszego własnego Wszechświata i warunków, jakie mogą być spełnione, aby do tego doszło.

Przede wszystkim pytanie o to, skąd się wzięły prawa natury, które umożliwiły powstanie naszego Wszechświata i ewolucję, staje się teraz mniej ważne. Jeśli same prawa natury są stochastyczne i przypadkowe, to nie istnieje żadna „przyczyna" związana z naszym Wszechświatem. Zgodnie z ogólną zasadą, że jeśli coś nie jest zabronione, to jest dozwolone, mamy pewność, że w tym scenariuszu może powstać jakiś wszechświat z takimi prawami, jakie odkryliśmy. Niepotrzebny jest żaden mechanizm ani żadna istota, aby prawa były takie, jakie są. Mogą być wszakże jakiekolwiek, ponieważ nie mamy jak dotąd teorii podstawowej, która wyjaśniałaby szczegółowy charakter krajobrazu wieloświata. (Choć trzeba przyznać, że aby uczynić jakiś postęp w obliczaniu prawdopodobieństw, musimy ogólnie zakładać, tak jak w mechanice kwantowej, że określone własności dotyczą wszystkich możliwości. Nie wiem, czy można jakoś obejść się bez tego pomysłu, ani nie znam żadnego artykułu na ten temat).

W istocie może w ogóle nie ma żadnej teorii podstawowej. Choć stałem się fizykiem, ponieważ miałem nadzieję, że jest taka teoria i kiedyś będę mógł pomóc ją odkryć, ale ta nadzieja może okazać się płonna, jak już tutaj nad tym biadałem. Pociechę dają mi słowa Richarda Feynmana, które już w skrócie cytowałem, ale tutaj chcę je teraz zaprezentować w całości:

> Ludzie pytają mnie: „Czy poszukuje pan fundamentalnych praw fizyki?". Nie, nie poszukuję. Stawiam sobie za cel odkrywanie głębszej prawdy o świecie, a jeśli przy tym okaże się, że jest proste podstawowe prawo, które wyjaśnia wszystko, to niech tak będzie. Byłoby bardzo miło to odkryć. Ale jeśli okaże się, że prawo to ma milion warstw podobnie jak cebula, a my mamy po dziurki w nosie badania tych warstw, to tak to już jest… Po prostu mój udział w nauce polega na

odkrywaniu głębszej prawdy o świecie, a im więcej się dowiem, tym lepiej. Lubię odkrywać.

Można tę argumentację rozszerzyć dalej i na różne kierunki, co ma także wpływ na racje tworzące sedno tej książki. W wieloświecie każdego typu rozważanego w tej książce może być nieskończenie wiele regionów, potencjalnie nieskończenie wielkich albo nieskończenie małych, w których jest po prostu „nic", i mogą być regiony, w których jest „coś". W tym wypadku odpowiedź na pytanie, dlaczego jest raczej coś niż nic, staje się prawie banalna: coś jest dlatego, że po prostu gdyby nic nie było, to tam byśmy nie żyli!

Rozumiem frustrację związaną z tak trywialną odpowiedzią na owo głębokie pytanie zadawane od wieków. Niemniej nauka uczy, że to co głębokie albo to co trywialne może okazać się nagle diametralnie odmienne od tego, co zakładano pierwotnie.

Wszechświat jest znacznie dziwniejszy i znacznie bogatszy – cudownie niezwykły – niż nasza skromna ludzka wyobraźnia jest w stanie pojąć. Współczesna kosmologia doprowadziła nas do rozważania idei, które sto lat temu nie mogłyby być w ogóle sformułowane. Wielkie odkrycia XX i XXI wieku nie tylko zmieniły świat, w którym żyjemy, ale zrewolucjonizowały w ciągu naszego życia wiedzę o Wszechświecie, który istnieje – albo wszechświatach, które mogą istnieć – wiedzę o ukrytej rzeczywistości, dopóki nie staliśmy się na tyle śmiali, by ją odkryć.

To dlatego filozofia i teologia są fundamentalnie niezdolne do zajmowania się podstawowymi problemami naszego istnienia. Cierpieliśmy na krótkowzroczność, dopóki nie otworzyliśmy oczu i nie pozwoliliśmy naturze dyktować warunki.

Dlaczego raczej jest coś niż nic? Ostatecznie to pytanie może nie być ważniejsze ani głębsze niż pytanie o to, dlaczego pewne kwiaty są czerwone, a inne niebieskie. „Coś" może zawsze powstawać z niczego. Może to być konieczne, niezależne od natury rzeczywistości. Równie dobrze „coś" może nie być niczym specjalnym albo nawet okazać się czymś bardzo pospolitym w wieloświecie. Tak czy owak pożyteczne nie jest samo rozważanie tego zagadnienia, ale

raczej udział w ekscytującej wyprawie odkrywców, która może wyraźnie ukazać, jak ewoluował i ewoluuje Wszechświat, w którym żyjemy, oraz jakie procesy są odpowiedzialne za nasze istnienie. W tym celu powołaliśmy naukę. Możemy uzupełnić takie rozumienie świata refleksją i nazwać to filozofią. Tylko jednak dzięki ciągłemu badaniu wszystkich dostępnych zakamarków Wszechświata naprawdę zdajemy sobie sprawę z naszego miejsca w kosmosie.

Zanim zakończymy, chcę omówić jeszcze jeden, dotąd pomijany aspekt zagadnienia. W pytaniu o to, dlaczego raczej jest coś niż nic, tkwi ukryte oczekiwanie, że „coś" będzie trwać – że Wszechświat w jakiś sposób „przeszedł" do momentu naszej w nim egzystencji, tak jakbyśmy byli zwieńczeniem kreacji. W świetle wiedzy o Wszechświecie bardziej prawdopodobna jest możliwość taka, że w przyszłości zapanuje znów królestwo pustki, być może na wieczność.

Jeśli zamieszkujemy wszechświat, którego energia zdominowana jest przez energię nicości, tak jak to opisałem, to przyszłość istotnie jest ponura. Niebiosa staną się zimne, ciemne i puste. A jednak sytuacja w rzeczywistości jest gorsza. Wszechświat zdominowany przez energię pustej przestrzeni jest najgorszym dla przyszłości życia ze wszystkich wszechświatów. Każda z cywilizacji z pewnością ostatecznie zniknie z powodu braku energii. Po niewiarygodnie długim czasie jakieś fluktuacje kwantowe albo termiczne wzbudzenie spowoduje powstanie lokalnie regionu, w którym życie znowu będzie mogło wyewoluować i kwitnąć. Nawet i to będzie ulotne. Przyszłość Wszechświata to dominacja pustki niezdolnej docenić ogromu jego tajemnicy.

Ewentualnie jeśli materia, z której jesteśmy zbudowani, została stworzona na początku czasu przez jakiś proces kwantowy, jak opisywałem, to mamy zagwarantowane, że ona także zniknie jeszcze raz. Fizyka jest ulicą dwukierunkową i początki z końcami są wzajemnie powiązane. Daleko, daleko w przyszłości protony i neutrony rozpadną się, materia zniknie, a Wszechświat dojdzie do stanu maksymalnej prostoty i symetrii.

Matematycznie być może pięknej, ale pozbawionej substancji, jak napisał Heraklit z Efezu w trochę innym kontekście. Homer był

w błędzie, gdy mówił: „Bodaj przepadła niezgoda wśród bogów i ludzi śmiertelnych!”[6]. Nie dostrzegał, że modlił się o zniszczenie Wszechświata, bo jeśli jego modlitwa zostałaby wysłuchana, wszystko by zniknęło. Christopher Hitchens ujął to inaczej: „Nirwana *jest* nicością”.

6 Homer, *Iliada* (18.105) przeł. K. Jeżewska, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005 (przyp. red.).

Nieunikniona może być bardziej ekstremalna wersja tego ostatecznego odwrotu do nicości. Niektórzy teoretycy strun dowodzą na podstawie skomplikowanych obliczeń, że wszechświat podobny do naszego, z dodatnią energią pustej przestrzeni, *nie może* być stabilny. Musi ostatecznie rozpaść się do stanu, w którym energia związana z przestrzenią będzie ujemna. Nasz Wszechświat zatem powinien zostać zgnieciony do punktu i powrócić do kwantowej mgły, z której mogło powstać nasze istnienie. Jeśli te argumenty są prawdziwe, to zniknie on tak gwałtownie, jak prawdopodobnie powstał.

W tym wypadku odpowiedź na pytanie: „Dlaczego raczej jest coś niż nic?”, będzie prosta: „Zbyt długo nie będzie”.

# Epilog

*Usankcjonowanie eksperymentalnych faktów jako prawdy jest zagadnieniem bardzo istotnym i siłą napędową naszej cywilizacji od czasów renesansu.*

Jacob Bronowski

Rozpoczynałem tę książkę innym cytatem z Jacoba Bronowskiego:

> Bez względu na to, czy jest to marzenie, czy też koszmar, musimy cieszyć się życiem takim, jakie jest, i przeżywać je świadomie. Żyjemy w świecie na wskroś przenikniętym nauką, który jest zarówno rzeczywisty, jak i integralny. Nie możemy tego przekształcić w grę, opowiadając się po którejś ze stron.

Marzenie jednego człowieka dla drugiego może być koszmarem, jak już wcześniej dowodziłem. Może się wydawać, że Wszechświat stworzony bez celu i przewodnictwa prowadzi do życia pozbawionego sensu. Dla innych, łącznie ze mną, taki wszechświat jest ekscytujący. Czyni to fakt naszego istnienia jeszcze bardziej niezwykłym, skłania do nadawania sensu naszym własnym działaniom, wykorzystania w pełni danej nam krótkiej egzystencji pod Słońcem po prostu dlatego, że tu jesteśmy, błogosławieni świadomością i sposobnością czynienia, co chcemy. Bronowskiemu jednak chodzi o to, że nieistotne jest to, jaki wszechświat nam się marzy. Cokolwiek się zdarzyło, już się zdarzyło i zdarzyło się w skali kosmicznej. A cokolwiek ma się stać w tej skali, stanie się niezależnie od tego, czy nam się to podoba czy też nie. Nie mamy wpływu na przeszłość i zapewne nie będziemy mieć wpływu na przyszłość.

Jednak jest coś, co możemy zrobić: mianowicie starać się zrozumieć okoliczności naszego istnienia. W tej książce opisałem jedno z najbardziej niezwykłych poszukiwań, jakich podjęła się ludzkość w historii swej ewolucji. To imponujące badania i próba zrozumienia kosmosu w skali nieznanej jeszcze sto lat temu. Poszukiwania te tchnęły w ludzi nowego ducha, połączyły chęć podążania za dowodami, dokądkolwiek mogą one prowadzić, z odwagą poświęcenia życia na badanie nieznanego i w pełnej świadomości, że może to nas zawieść donikąd. Wymagały one niezwykłego połączenia kreatywności i wytrwałości w nużącym układaniu niezliczonych równań albo przeprowadzaniu niezliczonych eksperymentów.

Moją uwagę zawsze przyciągał mit o Syzyfie i czasami porównywałem wysiłek naukowy do nieustannego toczenia głazu wzwyż po zboczu góry po to tylko, aby spadł on z powrotem na dół, nie osiągnąwszy wierzchołka. Camus wyobrażał sobie, że Syzyf się uśmiecha, my także to zróbmy. Sama nasza podróż, bez względu na jej wynik, jest już nagrodą.

Wyjątkowy postęp dokonany w ostatnim stuleciu pozwolił naukowcom dojrzeć promyk nadziei na wyjaśnienie zagadnień, które pojawiły się jeszcze w czasach, gdy podejmowaliśmy nieśmiałe próby zrozumienia, kim jesteśmy i skąd się wzięliśmy.

Jak już tutaj opisywałem, samo znaczenie tych zagadnień ewoluowało razem z naszą wiedzą o Wszechświecie. Pytanie „dlaczego raczej jest coś niż nic?” dotyczy kosmosu, a znaczenie użytych słów nie jest już takie jak kiedyś, zanika bowiem samo rozróżnienie pomiędzy czymś a niczym, z tym że owo zatarcie granic w różnych kontekstach jest nie tylko powszechne, ale czasami wymagane.

Pytanie, jako takie, zostało odsunięte na bok, gdy dążyliśmy do uzyskania wiedzy. Teraz zaś musimy zrozumieć procesy rządzące naturą, aby umieć przewidywać przyszłość i kiedy stanie się to możliwe, mieć na nią wpływ. Tak czyniąc, odkryliśmy, że żyjemy we wszechświecie, w którym pusta przestrzeń – uchodząca przedtem za nicość – ma dynamikę decydującą o dalszej ewolucji kosmosu. Odkryliśmy, że wszelkie oznaki wskazują na wszechświat, który mógł

i prawdopodobnie powstał z głębokiej nicości – obejmującej także brak samej przestrzeni – i który może pewnego dnia powrócić do nicości. A stanie się to dzięki procesom, które nie tylko jesteśmy w stanie zrozumieć, ale które także nie wymagają żadnej zewnętrznej kontroli czy ustalania kierunku swego przebiegu. W tym sensie nauka, jak podkreślił Steven Weinberg, nie wyklucza wiary w Boga, ale raczej umożliwia niewiarę w niego. Bez nauki wszystko jest cudem. Dzięki nauce zaś powstaje możliwość, że nic nim nie jest. W takim razie religia staje się coraz mniej potrzebna i traci coraz bardziej znaczenie.

Oczywiście każdy z nas może opowiedzieć się za boskim stworzeniem świata i nie przypuszczam, aby trwająca obecnie debata miała się szybko zakończyć. Niemniej jak już podkreślałem, aby zachować uczciwość intelektualną, musimy dokonywać świadomego wyboru, świadomi faktów, a nie objawienia.

Taki był cel pisania tej książki – ukazanie obrazu Wszechświata, jaki rozumiemy, i opisanie teoretycznych rozważań napędzających rozwój fizyki, gdy my, naukowcy, staramy się oddzielić ziarno od plew w naszych eksperymentach i teoriach.

Jasno określiłem własne stanowisko. Wydaje mi się, że powstanie *naszego* Wszechświata z niczego jest, jak dotąd, jedyną możliwością. Wy możecie wyciągać inne wnioski.

Pragnę zakończyć mój wywód powrotem do pytania, które osobiście uważam za znacznie bardziej intelektualnie fascynujące niż pytanie o coś z niczego. Mianowicie Einstein zapytał, czy Bóg miał jakiś wybór podczas kreacji Wszechświata. To pytanie motywuje prawie wszystkie badania podstawowe nad strukturą materii, przestrzeni i czasu – badania, którym poświęciłem większość życia.

Kiedyś myślałem, że trudno wybrać na nie odpowiedź, ale w czasie pisania tej książki moje poglądy uległy zmianie. Bez wątpienia jeśli istnieje teoria oparta na jednoznacznym zbiorze praw, która opisuje, a w istocie określa, jak powstał nasz Wszechświat, i wyznacza prawa, które od tego momentu rządzą jego ewolucją – cel fizyki od czasów Newtona albo Galileusza – to odpowiedź wydaje się brzmieć: „nie, rzeczy muszą się dziać, jak się działy i jak się dzieją”.

Jeśli zaś nasz Wszechświat wcale nie jest unikatowy i jest częścią ogromnego i pewnie nieskończonego wieloświata wszechświatów, to czy odpowiedź na pytanie Einsteina będzie gromko brzmieć „tak, istnieje ogromnie wiele możliwości istnienia?”.

Nie jestem tego pewien. Może być tak, że istnieje nieskończony zbiór różnych kombinacji praw, różnorodności cząstek, substancji i oddziaływań, a nawet odmienne wszechświaty, które mogą powstać w takim wieloświecie. A może tylko pewne określone kombinacje, takie, jakie występują we Wszechświecie, w jakim żyjemy, albo w bardzo do niego podobnym, umożliwiają ewolucję istot, które potrafią zadawać takie pytanie. Wówczas odpowiedź na pytanie Einsteina wciąż pozostanie negatywna. Bóg lub Natura rządzący wieloświatem byliby równie ograniczeni podczas kreacji wszechświata, w którym Einstein mógł zadać to pytanie, jak gdyby nie było wyboru, tylko jedna spójna fizyczna rzeczywistość.

Dziwnie satysfakcjonująca jest możliwość, że w każdym ze scenariuszy nawet pozornie wszechwładny Bóg nie miałby swobody kreacji naszego Wszechświata. Bez wątpienia sugeruje to, że Bóg jest niepotrzebny – albo w najlepszym wypadku niekonieczny.

# Posłowie Richarda Dawkinsa

Nic tak nie rozszerza horyzontów myślowych jak rozszerzający się Wszechświat. Muzyka sfer jest rymowanką, dżinglem słuchanym na tle majestatycznych akordów Symfonii Galaktycznej. Sięgnę po inną metaforę, w innym wymiarze: kurz stuleci, zamglone dzieje zwane przez nas historią „starożytną", wkrótce odlecą gnane niezmiennymi wiatrami, które wstrząsają choćby epokami geologicznymi. Nawet wiek Wszechświata wynoszący 13,72 miliarda lat, z dokładnością do czterech cyfr znaczących, jak zapewnia Lawrence Krauss, wydaje się chwilą w porównaniu z bilionami lat, które nadejdą.

Paradoksalna i przerażająca jest naszkicowana przez Kraussa wizja kosmologii w odległej przyszłości. Postęp naukowy najprawdopodobniej znajdzie się w regresie. Wydaje nam się, że jeśli w roku dwubilionowym naszej ery będą jacyś kosmolodzy, ich wizja Wszechświata będzie znacznie szersza niż nasza. Nic z tego – i jest to jedna ze wstrząsających konkluzji, do jakich dochodzę po zamknięciu tej książki. Nasza epoka, plus minus kilka miliardów lat, jest najbardziej sprzyjającym czasem dla kosmologów. Za dwa biliony lat Wszechświat rozszerzy się na tyle, że wszystkie galaktyki z wyjątkiem tej, w której żyje kosmolog (którakolwiek z nich to będzie) oddalą się od siebie poza horyzont tak daleko, tak nieodwołalnie, że staną się nie tylko niewidoczne, ale ponad wszelką wątpliwość nie pozostanie po nich śladu, nawet pośredniego. Równie dobrze mogłyby wtedy nigdy nie istnieć. Zniknie bez jakiejkolwiek szansy odtworzenia każdy możliwy ślad Wielkiego Wybuchu. W przeciwieństwie do nas kosmologowie przyszłości zostaną zupełnie odcięci od swej przeszłości, a nawet od możliwości określenia własnego położenia we Wszechświecie.

Wiemy, że istniejemy wśród stu miliardów galaktyk i wiemy o Wielkim Wybuchu, ponieważ jego ślady znajdują się wokół nas dosłownie wszędzie. Przesunięte ku czerwieni promieniowanie odległych galaktyk informuje nas o odkrytej przez Hubble'a ekspansji Wszechświata, którą my ekstrapolujemy wstecz. Jesteśmy uprzywilejowani, bo możemy zobaczyć te dowody, spoglądając na Wszechświat w wieku niemowlęcym, rozkoszując się istnieniem na początku ery, w której światło może wciąż podróżować pomiędzy galaktykami. Jak Krauss dowcipnie to ujął, „żyjemy w zupełnie wyjątkowych czasach... jedynych, kiedy obserwacyjnie jesteśmy zdolni wykazać, że żyjemy w zupełnie wyjątkowych czasach!". Kosmolodzy trzeciego billenium będą zmuszeni powrócić do naszej wizji z początku XX wieku, czyli istnienia w pojedynczej galaktyce, która zgodnie z ówczesną wiedzą i tym, co mogliśmy sobie wyobrazić, była synonimem całego Wszechświata.

W końcu nieuchronnie płaski Wszechświat będzie się jeszcze bardziej spłaszczał, aż do nicości, która odzwierciedli jego początek. Nie tylko nie będzie już oglądających go kosmologów, ale nie będzie dla nich już nic do oglądania, nawet gdyby jeszcze byli. Zupełnie nic. Nawet atomów. Nic.

Szkoda, jeśli wydaje się to ponurą i przygnębiającą wizją. Nie oczekujmy pocieszenia od rzeczywistości. Gdy Margaret Fuller[7] zauważyła – jak mi się wydaje – z pewną satysfakcją: „Obejmuję wszechświat", odpowiedź Thomasa Carlyle'a[8] była miażdżąca: „Do diaska, lepiej niech to zrobi". Uważam, że wieczny kres nieskończenie płaskiej nicości cechuje dostojeństwo, któremu mówiąc delikatnie, musimy stawić czoło z odwagą.

7 Amerykańska dziennikarka, reporterka, myślicielka (1810–1850) – przyp. red.

8 Szkocki pisarz, historyk, filozof (1795–1881); ujmował historię na płaszczyźnie kosmologicznej (przyp. red.).

Skoro coś może się rozpłaszczyć do nicości, to czy nic może zacząć działać i wykreować coś? Albo dlaczego – zacytujmy stare

teologiczne pytanie – raczej jest coś niż nic? Tutaj dochodzimy do najbardziej niezwykłej lekcji, jakiej udziela nam Lawrence na koniec książki. Fizyka wyjaśnia nam nie tylko, jak coś może powstawać z niczego, lecz według niego idzie znacznie dalej i wskazuje, że nicość nie jest stabilna, że „coś" jest zawsze gotowe, aby z niej powstać. Jeśli dobrze rozumiem Kraussa, dzieje się tak nieustannie. Zasada ta brzmi nieco jak fizyczna wersja legendy o dwóch złach, które czynią dobro. Cząstki i antycząstki pojawiają się i znikają jak subatomowe robaczki świętojańskie, anihilując się wzajemnie, a potem wskrzeszając się z nicości dzięki procesowi odwrotnemu.

Spontaniczne powstanie czegoś z niczego odbyło się w wielkim stylu na początku istnienia czasu i przestrzeni, w osobliwości znanej jako Wielki Wybuch, po którym nastąpił okres inflacji, gdy Wszechświat i wszystko wewnątrz niego, w ciągu ułamka sekundy, zwiększyło się dwadzieścia osiem rzędów wielkości (to znaczy zwiększyło się razy jeden z dwudziestoma ośmioma zerami – pomyślmy, ile to jest).

Co to za udziwnienia! Ci uczeni! Zupełnie jak średniowieczni scholastycy liczący, ile aniołów może zmieścić się na główce szpilki, albo rozważający „tajemnicę" przeistoczenia.

Nie, nie tak, zagalopowałem się. Jest wiele rzeczy, których nauka nie jest jeszcze w stanie wyjaśnić (ale pracuje nad tym z zakasanymi rękawami). Niemniej to, co wiemy, wiemy nie tylko w przybliżeniu (Wszechświat nie ma tysięcy, ale miliardy lat), wiemy to jednak z pewnością i wprawiającą w osłupienie dokładnością. Już wspominałem, że wiek Wszechświata określono z dokładnością do czterech miejsc znaczących. Robi to wrażenie, ale to nic w porównaniu z dokładnością niektórych przewidywań, którymi Krauss i jego koledzy mogą nas zadziwić. Bohater Kraussa Richard Feynman wykazał, że pewne z przewidywań mechaniki kwantowej – oparte na założeniach, które mogą wydawać się dziwaczniejsze niż cokolwiek, co może się przyśnić najbardziej zatwardziałym teologom – zostały potwierdzone z ogromną precyzją porównywalną z wyznaczeniem odległości z Nowego Jorku do Los Angeles z dokładnością średnicy włosa.

Teologowie mogą spekulować o aniołach na czubkach szpilki lub czymkolwiek podobnym. Fizycy, jak się wydaje, mają swoje anioły i swe własne czubki szpilek, kwanty i kwarki, „wdzięk", „dziwność" i „spin". Natomiast fizycy potrafią liczyć swe anioły, i to dokładnie do jednego pośród całkowitej ich liczby wynoszącej dziesięć miliardów. Dokładnie, ani jednego mniej, ani jednego więcej. Nauka może być dziwaczna i niezrozumiała – bardziej dziwaczna i mniej niezrozumiała niż teologia – ale nauka działa. Ma rezultaty. Umożliwi kiedyś lot na Saturna i po drodze okrążenie Wenus i Jowisza. Możemy nie rozumieć mechaniki kwantowej (ja nie rozumiem), ale teoria, która przewiduje zjawiska w świecie realnym z dokładnością do dziesięciu miejsc po przecinku, nie może w żadnym sensie się mylić. Teologii nie tylko brakuje miejsc dziesiętnych, brak jej jakiegokolwiek związku ze światem realnym. Jak powiedział Thomas Jefferson, gdy ustanawiał swój uniwersytet w Wirginii: „Nie przewidujemy tu katedry teologii".

Jeśli spytasz osoby religijne, dlaczego wierzą, kilku „wyrafinowanych" teologów zrobi unik i opowie ci o Bogu jako „przyczynie wszelkiego bytu" albo jako „metaforze wszelkich związków interpersonalnych" czy coś w tym stylu. Natomiast większość wierzących użyje, bardziej szczerze i bezradnie, argumentu o stworzeniu bądź pierwszej przyczynie. Filozofowie kalibru Davida Hume'a nie musieli podnosić się ze swych foteli, aby wykazać całkowitą słabość takiej argumentacji, wymaga ona bowiem wyjaśnienia, skąd wziął się kreator. Trzeba było jednak Karola Darwina, płynącego w realnym świecie na HMS *Beagle*, aby odkryć olśniewająco prostą – i niewymagającą dodatkowych wyjaśnień – alternatywę wobec tezy o boskim planie. To wystarczyło, jeśli chodzi o biologię, ponieważ biologia była zawsze ulubionym terenem łowieckim dla teologów przyrody, dopóki Darwin ich nie wypędził, oczywiście nierozmyślnie, bo przecież był najżyczliwszym i najłagodniejszym z ludzi. Wówczas wycofali się na elitarne pastwiska fizyki i ku początkom Wszechświata tylko po to, by natknąć się tam na czającego się Lawrence'a Kraussa i jego poprzedników.

Czy prawa fizyki i jej stałe wydają się doskonale ukartowaną robotą, zaprojektowaną w celu powołania nas do istnienia? Czy myślicie, że ten sam czynnik musiał też sprawić powstanie wszystkiego? Przeczytajcie Victora Stengera, jeśli nie rozumiecie, w czym tkwi błąd tego typu argumentacji. Przeczytajcie Stevena Weinberga, Petera Atkinsa, Martina Reesa, Stephena Hawkinga. A teraz możemy przeczytać u Lawrence'a Kraussa coś, co dla mnie wygląda na cios nokautujący. Nawet ostatnia pozostająca w dyspozycji teologów karta atutowa, „dlaczego raczej jest coś niż nic?", niknie w waszych oczach podczas czytania tych stronic. Jeśli *O powstawaniu gatunków* było śmiertelnym ciosem biologii zadanym wierze w zjawiska nadprzyrodzone, to *Wszechświat z niczego* jest jego kosmologicznym ekwiwalentem. Tytuł doskonale odzwierciedla treść książki. A jest ona wstrząsająca.

# Pytania do autora i odpowiedzi

## 1. Czym naprawdę jest „nic”?

Jak piszę w książce, najbardziej praktycznym rozwiązaniem jest opieranie naszych definicji na empirycznie odkrytych realiach, a nie na abstrakcyjnych filozoficznych zasadach. Dla mnie niezależnym od problemu „nieistnienia”, wciągającego w potencjalnie głębokie filozoficzne rozważania i bezowocne fizycznie idee, naprawdę niebywałym aspektem naszego Wszechświata, który, jak wierzę, inspirował większość debat na ten temat w ciągu stuleci, jest pytanie, jak wszystko to, co widzimy, mogło powstać we Wszechświecie, w którym tak naprawdę nic nie istniało. Wydaje się, że ten fakt co najmniej narusza zasadę zachowania energii, a co ważniejsze, zdrowy rozsądek. Niemniej jedną z wielkich zalet nauki jest to, że zdrowy rozsądek niekoniecznie jest dobrym przewodnikiem umożliwiającym zrozumienie natury. Zdrowy rozsądek powinien wynikać ze Wszechświata, a nie odwrotnie. A niezwykłym niecudownym cudem jest fakt, że połączenie mechaniki kwantowej z grawitacją pozwala, aby coś powstało z niczego.

Ów stan zawierający „nic” może nie być „niczym” w sensie klasycznym, niemniej to niezwykła transformacja. Tak więc pierwszą formą „niczego” jest po prostu pusta przestrzeń. Chociaż mają też rację ci, którzy kwestionują owo „nic” ze względu na to, że jest tam przestrzeń i jest również czas. Opisuję więc, jak to jest możliwe, że przestrzeń i czas mogły powstać w nieistniejącej przestrzeni i nieistniejącym czasie; takie ujęcie jest znacznie bliższe absolutnej „nicości”. Rzecz jasna można jednak znowu zapytać, czy to jest nicość, ponieważ transformacja niczego w coś zachodzi

zgodnie z pewnymi prawami fizyki. Skąd się one zatem biorą? To dobre pytanie, a jedna ze współczesnych odpowiedzi mówi, że same prawa powstają losowo wraz ze Wszechświatem. Wciąż jednak nasuwa się pytanie, co powoduje, że jest to możliwe, ale na pewnym poziomie pozostaje tylko stwierdzenie, że jak już pisałem na początku tej książki, mamy „ciągle żółwie, jeden na drugim". Istnieją pytania, na które możemy odpowiedzieć dzięki metodom empirycznym, i takie, których zadawanie nie prowadzi do rozszerzania wiedzy fizycznej i możliwości przewidywania zjawisk. Cała sztuka w tym, żeby umieć rozróżnić te dwa typy pytań.

## 2. Dlaczego „jak?", a nie „dlaczego?"

Pytaniom zaczynającym się od „dlaczego" w sposób niezamierzony brak bagażu intelektualnego. Możemy zapytać: „dlaczego dziewięć planet krąży wokół Słońca" (dla mnie Pluton zawsze będzie planetą!), ale tym samym nie przypisujemy żadnego znaczenia ani celu liczbie dziewięć, jak gdyby Wszechświat był tak zbudowany, aby dziewięć planet krążyło wokół Słońca. Jeśli nasze Słońce byłoby jedyną gwiazdą, to wtedy można przypisać pewne znaczenie tej konkretnej liczbie (jak zrobił to Kepler, gdy starał się wyjaśnić obecność sześciu planet za pomocą brył platońskich). Nas natomiast interesują inne sposoby powstawania układów słonecznych i jak do tego dochodzi. Pytanie „dlaczego" zakłada pewien cel, który wcale nie musi istnieć. W końcu wiecznie można pytać dlaczego, a ostateczną odpowiedzią będzie „dlatego", ale to niczego nie wyjaśnia.

## 3. Jeśli pozbywamy się Boga, czy życie traci wszelki sens?

Dla mnie oczywiście nie – wręcz odwrotnie. Widzę niewielki sens życia w świecie rządzonym przez jakąś boską postać podobną do Saddama Husajna – jak twierdził mój zmarły przyjaciel Christopher Hitchens – która nie tylko nadaje wszelkie prawa, ale także karze wiecznym potępieniem wszystkich, którzy się nie podporządkują. Życie we Wszechświecie niemającym celu wydaje mi się niezwykłe,

ponieważ czyni to nasze istnienie i naszą świadomość jeszcze cenniejszymi – czymś wartościowym w świetle tej krótkiej chwili danej nam pod Słońcem.

## 4. Co pan rozumie przez pojęcie „płaski”? Czy Wszechświat jest płaski jak stół?

Żałuję, że nie przedstawiłem tego bardziej starannie w pierwszym wydaniu książki i dlatego kontynuuję zagadnienie w tym wydaniu. Płaski trójwymiarowy wszechświat jest przestrzenią, w jakiej już żyjemy, gdzie promienie świetlne rozchodzą się po liniach prostych, a osie prostopadłe ($x$, $y$ i $z$) zawsze pozostają prostopadłe. W zakrzywionej trójwymiarowej przestrzeni żadne z tych stwierdzeń nie jest już prawdziwe. A ponieważ masa i energia mogą zakrzywiać przestrzeń lokalnie (tzn. na przykład wokół Słońca i wokół Ziemi), ważnym zagadnieniem jest globalna struktura przestrzeni w wielkiej skali, odpowiedź na pytanie, czy jest ona zakrzywiona czy też nie. I okazuje się, że w największych skalach, w jakich możemy prowadzić obserwacje, nie jest. Ten fakt jest bardzo znamienny, jak bowiem piszę w książce, jest to własność, jaka powinna cechować wszechświat powstający z niczego.

## 5. Czy nauka nie jest przypadkiem innym rodzajem wiary?

Absolutnie nie. Uczeni zmieniają zdanie, przyznają, że się mylili, i chętnie odrzucają idee, które okazały się błędne. Nie zakładamy z góry odpowiedzi na pytania, których jeszcze nie zadaliśmy. Tak, mamy wiarę w to, że Wszechświat jest pojmowalny, ale wielką zaletą nauki jest to, że z tej wiary można się otrząsnąć. W każdej chwili możemy zrezygnować z wiary w cokolwiek, w co dotąd wierzyliśmy, jeśli natura co innego nam zasugeruje.

## 6. Czy poszukiwania bozonu Higgsa w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) mają jakieś kosmologiczne implikacje? A co będzie, jeśli go odkryjemy? A jeśli nie odkryjemy?

Omawiam to zagadnienie w przedmowie. Poszukiwania bozonu Higgsa odzwierciedlają przebieg niezwykłej podróży intelektualnej, która rozpoczęła się więcej niż pięćdziesiąt lat temu i jeśli został on odkryty w LHC, jak początkowo wskazywały dane z 2011 roku, to teoretyczny gmach uzyska solidny fundament, bo w przeciwnym wypadku stałby on na grząskim gruncie. W tym sensie byłoby to nadzwyczajne, gdyby idee związane z bozonem Higgsa okazały się poprawne, ponieważ zwykle natura nas zaskakuje. Większość teorii w rzeczywistości jest błędna. Jeśli tak się nie okaże, to dalej będziemy tworzyć fizykę. W każdym razie jeśli bozon ten istnieje, to oznacza, że inny aspekt naszego istnienia jest kosmicznym przypadkiem. Cząstki zyskują masę dzięki oddziaływaniu z polem, które inaczej nie wykazuje swego istnienia; będzie to oddziaływanie podobne do próby płynięcia w melasie. Oznacza to, że gdyby owo pole nie powstało we wczesnym okresie istnienia Wszechświata, nie byłoby nas teraz… znowu coś z niczego! A tymczasem odkrycie bozonu Higgsa w LHC stworzy więcej pytań niż odpowiedzi. Dlaczego ma on masę taką, jaką ma? Jak jego istnienie można zrozumieć w kontekście czterech podstawowych oddziaływań natury? I tak dalej.

**7. Czytałem, że podstawowe prawa natury nie mają nic wspólnego z tym, skąd biorą się podstawowe oddziaływania, ani nie wynikają z faktu, że wszechświat miałby być zbudowany z konkretnego rodzaju cząstek i pól, z których jest zbudowany, ani z tym, że w ogóle świat powinien istnieć. Czy może pan to skomentować?**

Tak naprawdę w ciągu ostatnich czterdziestu lat jednym z największych osiągnięć w fizyce cząstek elementarnych jest zrozumienie, że własności Wszechświata, który widzimy, którego oddziaływania się ujawniają, którego szczególny rodzaj pól może istnieć w obserwowalnej skali i którego jedne cząstki mają masę, a inne nie, mogą powstać spontanicznie w tych okolicznościach, w jakich żyjemy. To zjawisko, zwane „spontanicznym złamaniem symetrii”, ogólnie polega na tym, że gdy Wszechświat ewoluuje

i oziębia się, w przestrzeni powstaje pewne pole, zupełnie podobnie jak w mroźny dzień na parapecie okna powstaje lód. Właśnie tak powstaje pole Higgsa. (Określony wzór lodu pojawiający się w mroźny dzień na parapecie okna z góry nie jest zadany na początku czasu, lecz powstaje w sposób dynamiczny).
Gdy to pole powstaje, pewne cząstki zyskują masę (i dlatego rozpadają się na inne cząstki i znikają), a inne pozostają bezmasowe. Określa ono także, które siły działają na dużych odległościach, tak jak elektromagnetyzm, a które nie, jak oddziaływanie słabe. Co się tyczy pytania, dlaczego świat może istnieć, powtórzę jeszcze raz: spontaniczne złamanie symetrii – w tym wypadku obejmujące możliwość działania grawitacji – może spowodować, że pewne wszechświaty będą się nieskończenie rozszerzać, podczas gdy inne znikną w jednej chwili. To wyjaśnia także, dlaczego pewne światy istnieją dostatecznie długo, aby można było zadać pytanie: „dlaczego raczej jest coś niż nic?".

## 8. Czy nie jest arogancją twierdzenie, że posiadamy wiedzę o powstaniu Wszechświata z niczego, a nauka już rozwikłała wszystkie ważne zagadnienia kosmologii?

Zabawne jest czytanie tej krytycznej uwagi, zazwyczaj wyrażanej przez tych, którzy nie czytali tej książki. Jedną z najważniejszych kwestii w niej omawianych jest to, że *nie znamy* wszystkich odpowiedzi, a to, czego się dowiedzieliśmy, jest niezwykle zwodnicze, chociaż równocześnie zmusza nas do rozważania głębokich fundamentalnych zagadnień, których być może nigdy nie uda się empirycznie sfalsyfikować.

## 9. Czy nauka nie jest zgodna z religią? W końcu obie badają te same zagadnienia.

Nauka w pewnym sensie jest zgodna z pewną podstawową formą deizmu – a mianowicie nie możemy powiedzieć, że Wszechświat, nawet taki, który w wyniku naturalnych procesów fizycznych

powstał z niczego, nie został stworzony z pewnym tkwiącym u jego podstaw zamiarem, choć zamiar ów nie musi być oczywisty. (Fakt, że nie ma dowodów zamiaru, może stwarzać komuś kłopot w argumentacji, lecz nie przejmujmy się). Nauka nie jest jednak zgodna ze wszystkimi doktrynami wszystkich wielkich religii, czyli chrześcijaństwa, judaizmu i islamu, jak również z tymi mniejszymi, na przykład mormonizmem i buddyzmem. I jest ważna tego przyczyna: doktryny zostały spisane przez ludzi, którzy nie wiedzieli, jak zbudowany jest świat. Z wyjątkiem mormonizmu, który powstał niedawno, ale jego doktryny spisano, gdy jeszcze nie wiedzieliśmy, że Ziemia krąży wokół Słońca!

## 10. Czy jest pan ateistą?

Nie w tym sensie, abym twierdził zdecydowanie, że Bóg nie istnieje, a Wszechświat powstał bez zamiaru. Nie mogę definitywnie stwierdzić, że czajniczek do herbaty nie orbituje wokół Jowisza, jak kiedyś powiedział Bertrand Russell. Takie zdarzenie jest oczywiście bardzo mało prawdopodobne. Ja natomiast zdecydowanie twierdzę, że nie chciałbym żyć we wszechświecie z Bogiem – to czyni mnie antyteistą, takim, jakim był mój przyjaciel Christopher Hitchens.